
WIDENER LIBRARY
HX FYL4
Digitized by Google


SIGILLUM ACADEMIAE HARVARDIANAE IN NOV ANG
VE RI TAS
CHRISTO ECCLESIAE

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

TOME XXXIV

1er TRIMESTRE 1903

PARIS

C. NAUD, ÉDITEUR

3, RUE RACINE, 3

Tome XXXIV — Samedi 3 Janvier 1903. — 10e Année. — N° 1.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES DE L'IMPRIMERIE DRAEGER FRÈRES

Dans les villes pourvues d'un réseau de distribution électrique, et notamment à Paris, la plupart des imprimeries arrivent peu à peu à la suppression de leurs machines motrices (moteurs à gaz, moteurs à vapeur) et adoptent l'emploi du moteur électrique branché sur le secteur et commandant chaque presse individuellement.

La raison de ces transformations réside moins dans la recherche d'une économie, parfois réelle cependant, sur la force motrice, que dans le désir d'utiliser les grands avantages de commodité qu'offre l'attaque des machines à imprimer par moteur individuel. La suppression des transmissions, une meilleure utilisation de l'espace disponible, la possibilité de régler très facilement la vitesse, la faculté de mettre en marche et d'arrêter la machine par la mise en marche et l'arrêt du moteur lui-même sont des avantages que tous reconnaissent aujourd'hui et sur lesquels il est inutile d'insister.

Qu'à la réunion de tous ces avantages, on joigne l'économie qui résulte de la substitution du moteur individuel aux lignes de transmissions à débrayages dans une usine où les machines à entraîner ont une marche très intermittente et exécutent des travaux tout à fait indépendants les uns des autres, et l'on comprendra que dans l'installation d'imprimeries importantes même montées en dehors des villes ou hors du rayon d'action des secteurs, on n'aie pas hésité, bien que ces imprimeries dussent être pourvues de eur force motrice, à y employer exclusivement la commande électrique.

Parmi ces imprimeries, l'une des plus récemment installées est celle que MM. Draeger frères viennent de mettre en marche à Montrouge. L'installation électrique a été faite par la « Française Électrique ». C'est une des premières installations complètes dans lesquelles cette nouvelle Société ait monté le matériel très moderne qu'elle a étudié dès sa fondation,



dans le courant de 1901, et la description du matériel qu'elle a fourni à l'usine Draeger ne sera pas, pensons-nous, d'un moindre intérêt que la description de l'installation très heureuse qu'elle y a réalisée.

Etant donnée la délicatesse des travaux très soignés qu'exécutent MM. Draeger frères, il était nécessaire de prévoir, pour les différentes machines à imprimer, une très grande échelle de vitesses; pour la même raison, l'installation d'un excellent éclairage était imposée. Pour répondre à ces deux conditions, on adopta une double distribution : la première, à deux fils sous 120 volts, alimente tout l'éclairage qui comprend 100 lampes à incandescence et 9 lampes à arc et fournit également le courant aux lampes de photographie; l'autre, à 4 fils, alimente les moteurs à excitation séparée sous 120 volts, aux bornes desquels elle permet de donner 120, 170, ou 220 volts; 15 moteurs sont actuellement installés dont 12 pour le service des presses.



Fig. 1. — Génératrice à courant continu de 30 kilowatts, de la « Française Électrique ».

La station génératrice de l'usine comprend deux groupes électrogènes de 30 kilowatts à 120 volts et deux survolteurs de 250 ampères à 50 volts montés en tension entre eux et avec les barres à 120 volts du tableau pour donner les tensions de 170 et 220 volts.

La vapeur est fournie par une chaudière Babcock et Wilcox de 45 m² de surface de chauffe, suffisante pour une puissance totale de 80 chevaux.

Les groupes électrogènes se composent chacun d'une dynamo à courant continu de 250 ampères 120 volts à 440 tours de la « Française Électrique » et d'une machine à vapeur Boulte Larbodière de 45 chevaux effectifs pour une pression de vapeur au tiroir de 10 kg sans condensation. Les arbres de la dynamo et de la machine à vapeur sont réunis par un manchon élastique B. L. : le plateau monté sur la dynamo porte une jante de poulie par laquelle peut se faire l'entraînement des survolteurs. Ceux-ci sont disposés dans l'espace disponible entre les deux groupes électrogènes et montés sur glissières; l'ensemble est tel que l'on peut à volonté commander les deux survolteurs par l'un ou l'autre groupe ou atteler un survolteur sur chacun des groupes.

Nous donnons ci-contre une photographie et une coupe de la machine à 4 pôles de 30 kilowatts de « la Française Électrique » qui entre dans la constitution des groupes électrogènes (fig. 1 et 2). Au point de vue mécanique, ce type de machine se caractérise par son mode de construction et par sa robustesse; deux idées en effet ont guidé les constructeurs qui l'ont créé : d'une part, réaliser des machines dont toutes les pièces travaillées avec un outillage de fabrication bien étudié fussent faites en série, à bon marché et pratiquement interchangeables, et, d'autre part, donner à ces machines une forme telle que toutes les parties délicates : bobinages induit et inducteur, collecteur, balais, fussent mécaniquement très bien protégés sans que cette protection nuise d'ailleurs en rien à une excellente ventilation. Au point de vue purement électrique, nous devons noter, outre le soin particulier apporté à l'étude du bobinage en vue d'un très bon isolement et d'une très grande solidité, l'attention toute spéciale qu'ont donnée les constructeurs à la question de la commutation



et du décalage des balais en étudiant la forme des pièces polaires, le collecteur et surtout les porte-balais.

La carcasse magnétique en acier coulé de ces machines en constitue elle-même tout le bâti. D'une forme symétrique et circulaire et coulée d'une seule pièce, elle s'épanouit seulement vers le bas pour former l'assise de la machine, et c'est sur elle que viennent se fixer de chaque côté les paliers. A cet effet, elle porte deux embrèvements tournés en même temps que se fait l'alésage des masses polaires et par conséquent bien concentriques à cet alésage; les paliers, d'autre part, en forme de flasques ou boucliers, ont leur arête

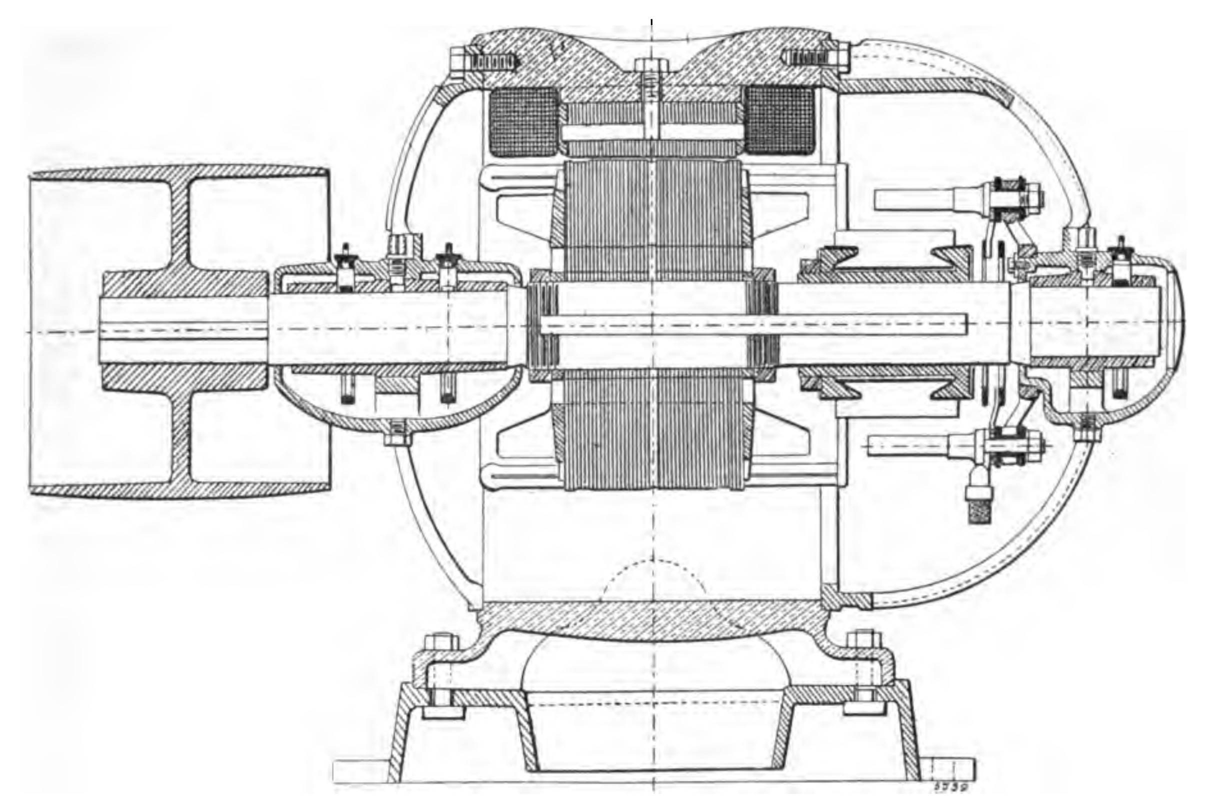


Fig. 2. — Coupe de la génératrice à courant continu de 30 kilowatts.

extérieure tournée, en même temps que se fait leur alésage, à un diamètre tel qu'ils viennent se monter exactement dans les embrèvements de la carcasse. A part le rabotage du patin de la machine, tout l'usinage de la carcasse et des paliers est fait sur le tour et par construction même, les alésages des deux paliers et celui des masses polaires se trouvent donc tous trois parfaitement concentriques. Les paliers dont nous venons d'indiquer la forme générale, sont évidés de façon à ne laisser entre une couronne extérieure qui s'emboîte dans la carcasse et la tête du palier qui porte le coussinet et forme réservoir d'huile, que quatre bras en face desquels sont percés dans la couronne, et exactement à 90°, les quatre trous des vis de fixation. Les quatre grandes ouvertures qui se trouvent ainsi réservées dans les paliers assurent la libre circulation de l'air déplacé par la rotation même de l'induit et permettent en outre, du côté du collecteur, d'accéder très facilement à cet organe pour son entretien et de régler ou de changer très commodément les balais. Les masses polaires, au nombre de 4, venues de fonte à l'intérieur de la carcasse et alésées comme nous



l'avons dit, ne constituent pas entièrement les noyaux d'inducteurs; elles sont terminées, du côté de l'induit, par des masses feuilletées portant de chaque côté des épanouissements très amincis à leur extrémité; les tôles qui composent ces masses feuilletées étant découpées très exactement suivant le diamètre d'alésage des masses polaires venues de fonte et suivant le diamètre de l'entrefer de la machine, il s'ensuit que, fixées par une vis, elles s'appuient dans l'alésage par un joint de résistance nulle et donnent, d'autre part, un entrefer très correct sans retouche. Les bobines inductrices, à l'intérieur desquelles se fait le

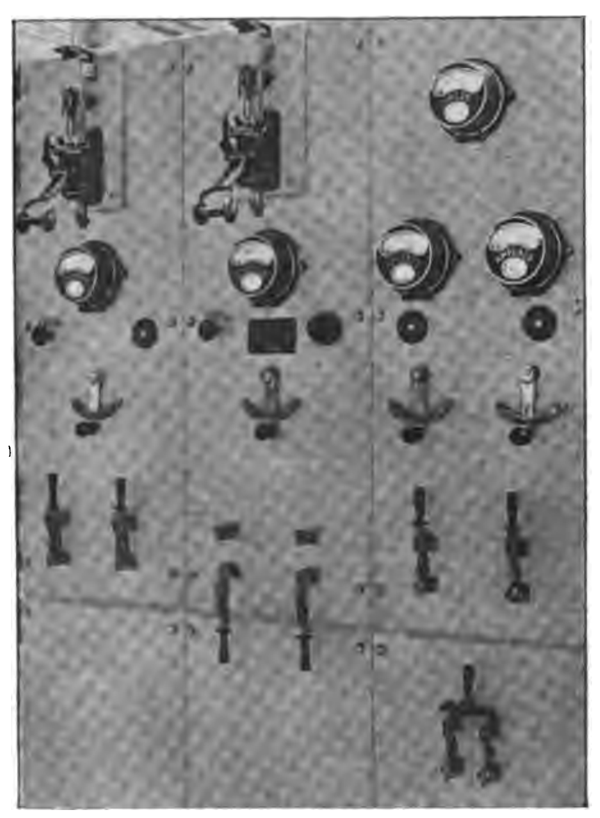



Fig. 3. — Tableau de distribution (face antérieure).

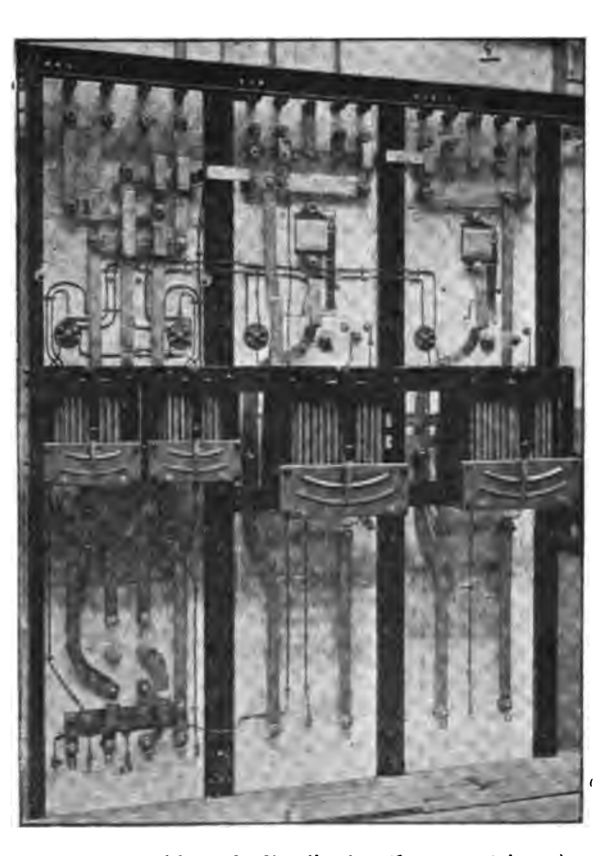


Fig 4. — Tableau de distribution (face postérieure).

joint, se trouvent serrées contre la carcasse et maintenues très solidement en place par les épanouissements mêmes des masses rapportées.

Les tôles d'induit et le collecteur sont montés directement sur un arbre très robuste et étudié de façon à éviter toute diminution brusque de section. Les tôles d'induit, découpées à l'avance et vernies, sont serrées entre deux plateaux en fonte malléable maintenus par des écrous; le noyau d'induit est sectionné par de larges ouvertures de ventilation; le collecteur est monté sur l'arbre de manière que la face qui regarde le palier ne présente aucun joint par lequel puisse pénétrer l'huile qui viendrait à filer le long de l'arbre.

Le bobinage d'induit est exécuté sur forme; de cette façon toutes les sections faites très exactement viennent parfaitement se juxtaposer en formant une voûte qui, une fois frettée, n'est plus susceptible d'aucune déformation du fait de la force centrifuge ni de la dilatation; on évite ainsi tout contact accidentel entre sections provenant d'un déplacement

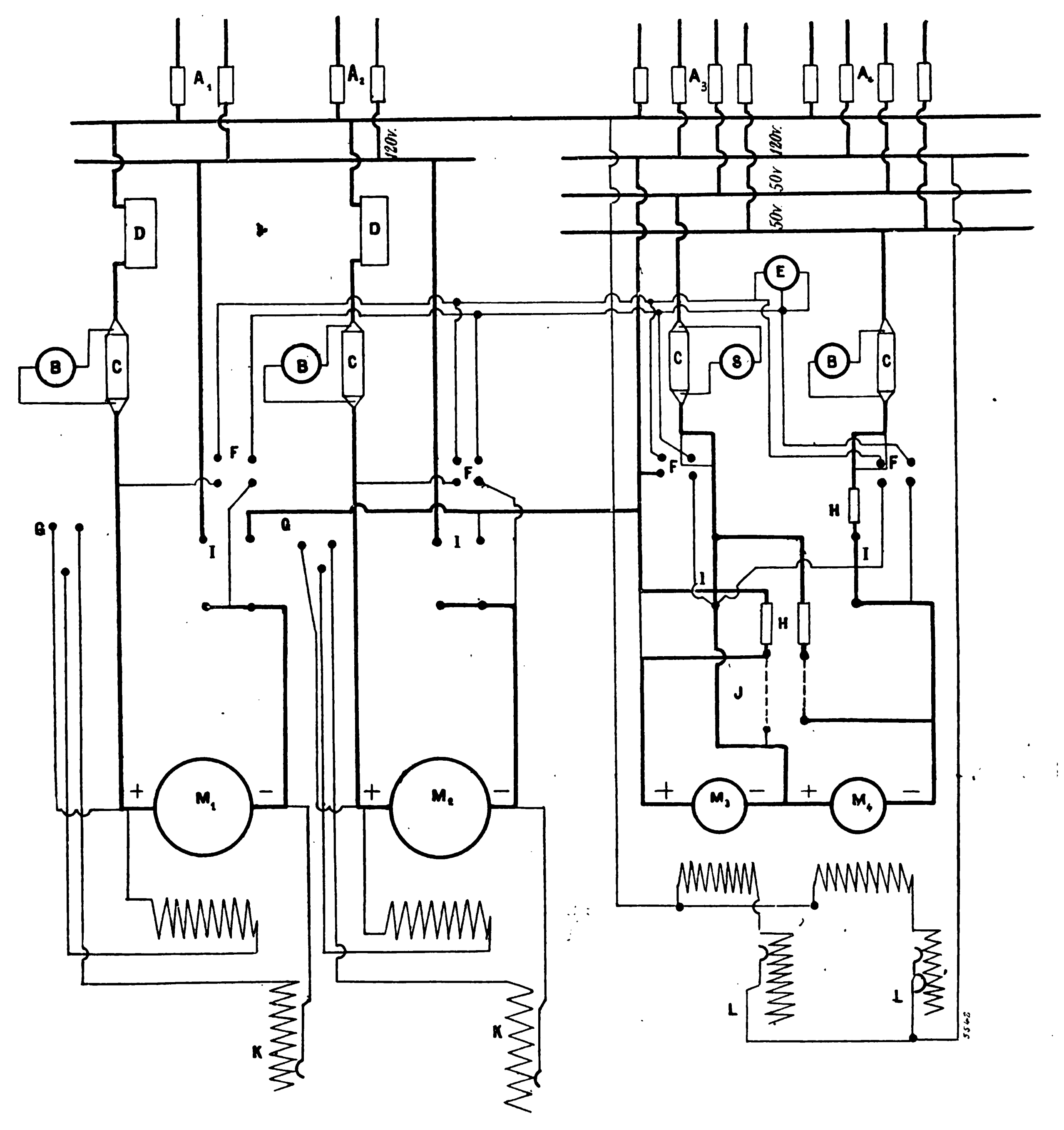


Fig. 5. — Schéma du tableau de distribution.

A_1. Départ n° 1 } Feeders d'éclairage ;
A_2. Départ n° 2 }
A_3. Départ n° 1 } Feeders de force motrice :
A_4. Départ n° 2 }
B. Ampèremètres de 250 ampères :
C. Shunts ;
D. Disjoncteur a maxima de 250 ampères ;
E. Voltmètre ;
F. Commutateur de voltmètre ;
G. Interrupteur de champ ;
H. Plomb fusible.
I. Interrupteur à rupture brusque de 250 ampères :
J. Interrupteur bipolaire pour la marche avec le survolteur M_4 seul ;
K. Rhéostat à 27 touches des génératrices ;
L. Rhéostat à 19 touches et à rupture des survolteurs ;
M_1 Génératrice de 250 ampères, 110 volts, n° 1 ;
M_2 Génératrice de 250 ampères, 110 volts, n° 2 ;
M_3 Survolteur n° 1 ;
M_4 Survolteur n° 2.

(Sur l'ampèremètre ou survolteur M_3 lire B au lieu de S.)

ou d'un frottement de celles-ci. La jonction aux lames du collecteur se fait par des ailettes dans lesquelles les extrémités des sections viennent se souder; ces lames elles-mêmes sont rivées et soudées dans les lames du collecteur. Les ailettes qui offrent une large surface de refroidissement et sont animées d'une grande vitesse linéaire, contribuent beaucoup au refroidissement de l'armature.

Les porte-balais employés sont du type à gaine très usité sur les machines américaines; nous ne pouvons décrire en détail les dispositions nouvelles qui ont fait l'objet du brevet pris par la Française Électrique; l'une des plus heureuses toutefois est certainement celle qui consiste à employer comme ressort de pression un ressort dont l'effort est transmis exactement dans l'axe du balai. L'adoption de ce porte-balai contribue sans doute dans une large mesure à la très bonne marché sans étincelles de la dynamo que nous venons de décrire.



Fig. 6. — Moteur suspendu pour commande par poulie de friction.

Les deux survolteurs de 250 ampères 50 volts sont des machines du même type que les deux génératrices; ils sont montés sur des glissières-tendeurs du genre de celle qui est représentée dans la photographie que nous donnons; une seule vis disposée dans l'axe de la machine suffit à donner à la courroie la tension voulue, la machine étant guidée dans la glissière. Quelle que soit la position de la dynamo sur sa glissière, cette vis reste toujours complètement à l'intérieur du socle, l'encombrement total étant ainsi réduit à l'encombrement de celui-ci.

Le tableau de distribution dont nous donnons une vue et un schéma (fig. 3-4-5) a été étudié de façon à permettre les combinaisons suivantes :

Marche avec l'une quelconque des deux dynamos sur la lumière seule, l'autre dynamo étant sur le circuit des moteurs;

Marche avec l'une quelconque des deux dynamos à la fois sur les deux circuits;

Marche en parallèle des deux dynamos à la fois sur les deux circuits ou sur chacun des circuits isolément.

Accessoirement, le tableau permet, en cas d'avarie à l'un des survolteurs, de supprimer le pont 170-220 volts, le survolteur restant donnant 120-170 volts.

Ce tableau est divisé en trois panneaux, un pour chaque génératrice et un pour les survolteurs; les trois panneaux en marbre de 30 mm d'épaisseur chanfreiné, sont montés chacun sur deux cornières permettant de les assembler entre eux et de fixer l'ensemble très solidement; suivant une très bonne pratique qui se répand de plus en plus, toutes les connexions et départs sont faits derrière le tableau, les instruments de mesure et les différents appareils à manœuvrer étant seuls sur le devant, de façon à éviter tout court-circuit accidentel sur le tableau; tous les départs sont faits sur fusibles facilement amovibles, de façon qu'on puisse toujours rapidement déconnecter l'une quelconque des lignes du circuit des machines et y travailler en toute sécurité sans avoir à arrêter le reste de l'installation.

Il nous reste à parler des différents moteurs employés et de leurs appareils de mise en marche; nous ne décrirons pas l'installation d'éclairage qui n'offre rien de particulier.



Les moteurs sont tous construits suivant les mêmes principes que les machines génératrices et survolteurs. Ils sont toutefois de deux formes différentes, suivant les machines à commander. Pour une partie des presses, dont les dimensions de poulie ou de volant et les vitesses sont suffisantes, les moteurs sont du type normal, montés sur glissières, et ils attaquent la machine à imprimer par une courroie suffisamment courte pour que le moteur ne dépasse pas l'encombrement général. Pour les autres presses, on a appliqué la commande par friction sur volant à grand diamètre. La Française Électrique a créé pour cette sorte d'applications un type spécial de moteur qui supprime les inconvénients très graves qui font généralement rejeter ce genre de commande comme non mécanique. Le moteur (fig. 6) est monté à pivot sur une base qui sert à la fixation; la verticale du centre de gravité passant par le pivot, le moteur oscille librement de chaque côté de cette verticale, le déplacement étant d'ailleurs limité par deux talons Un fort ressort avec vis de rappel pour régler la tension est attaché d'une part au socle, d'autre part à une oreille venue de fonte avec la carcasse; la tension du ressort dirigée verticalement se trouve, par suite de la disposition de l'ensemble, équilibrée par la pression même de la poulie de friction sur son volant. Cette pression est donc constante pour une tension donnée du ressort; elle peut se régler suivant la charge et enfin, grâce à l'élasticité du ressort, un peu de faux-rond sur le volant ou un mauvais réglage de la vis de rappel n'ont que peu ou pas d'inconvénients.

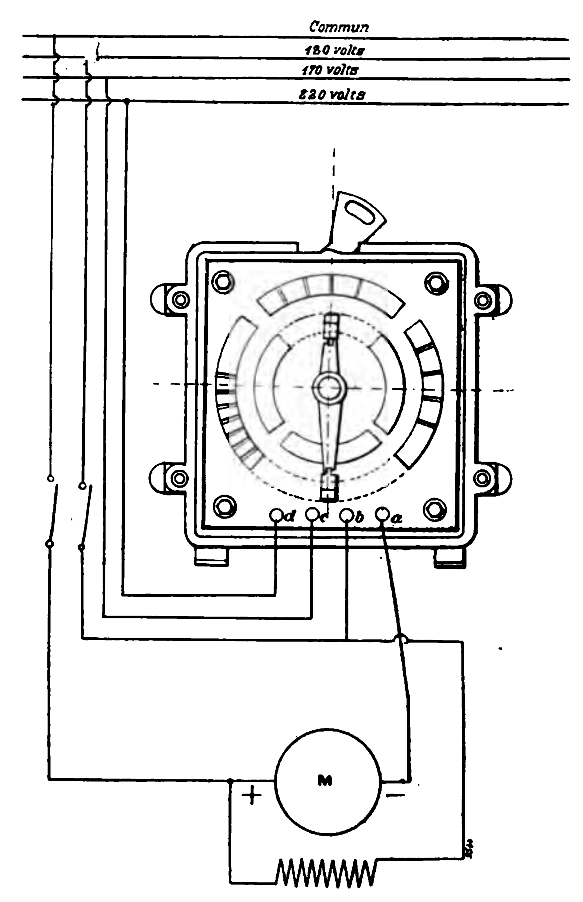


Fig. 7. — Schéma de l'appareil de manœuvre du moteur des presses.

M, moteur shunt excité sous 120 volts; *a*, borne du moteur; *b*, borne pour 120 volts; *c*, borne pour 170 volts; *d*, borne pour 220 volts.

Ce dispositif permettant d'adapter très simplement la commande électrique à des presses existantes, a en outre un précieux avantage : il fonctionne comme limiteur et évite ainsi toute surcharge du moteur; il évite également la fusion des plombs et la nécessité de les remplacer dans les cas trop fréquents d'une mise en marche brusque qui supprime l'effet du rhéostat de démarrage.

L'appareil de manœuvre, dont la figure 7 représente le schéma, a été étudié de façon à pouvoir être placé en dessous de la machine à imprimer elle-même pour ne pas en augmenter l'encombrement et à être actionné par un levier placé à la main du margeur: sauf dans les machines pourvues d'un frein spécial se manœuvrant au pied, ce levier commande également le frein qui se trouve ainsi enclenché avec le rhéostat de mise en marche. Cet appareil de manœuvre se compose d'une caisse de résistance montée sur un châssis en fer, d'un renvoi de mouvement monté sur bâti en fonte et fixé très solidement sur ce châssis, et d'un commutateur sur marbre à contacts plats et balais en charbon. Ce commutateur per-

met de mettre l'induit du moteur sous les trois tensions de 120, 170 et 220 volts, et en outre, à chacune de ces tensions, d'interposer dans le circuit des résistances, de façon à donner 15 vitesses différentes dont trois correspondent à la marche directe sous chaque tension et par conséquent sans perte d'énergie dans le rhéostat. Les résistances, bien entendu, sont assez largement calculées pour qu'on puisse, sans danger, rester sur un plot quelconque du commutateur.

Les frotteurs du commutateur sont entraînés par le renvoi de mouvement par l'intermédiaire d'un petit manchon isolant; ce renvoi qui, comme nous l'avons dit, est monté sur un châssis en fonte, est manœuvré par le margeur à l'aide d'un levier, coudé de façon à se trouver bien à sa main. Il est construit de façon à pouvoir supporter des manœuvres très brutales et il permet de faire faire aux frotteurs du commutateur leur course complète pour un déplacement assez faible du levier de manœuvre; il comporte en outre une came avec un cliquet à ressort dont le but est de déterminer exactement l'arrêt des frotteurs sur chaque plot et de produire le passage brusque de ces frotteurs d'un plot à l'autre : cette condition était essentielle pour éviter les arcs qui pourraient s'amorcer et même s'entretenir d'une façon permanente, dans un commutateur que l'ouvrier manœuvre sans le voir.

L'usine comprend encore un certain nombre de machines accessoires toutes commandées électriquement; nous n'en décrirons pas l'installation qui ne présente rien de spécial : On a conservé le principe admis pour les presses à imprimer de la commande directe par moteurs électriques individuels. Il n'y a d'ailleurs pas que dans l'industrie de l'imprimerie, que ce principe s'impose pour ainsi dire, mais partout où les machines opératoires sont à régime de marche intermittente. En dehors de l'économie possible de charbon et des économies certaines de graissage et de courroies, les industriels peuvent trouver à l'appliquer des avantages de commodité et de sécurité qui compensent largement l'augmentation du prix de premier établissement. L'installation que nous venons de décrire offre en outre un exemple de distribution à plusieurs tensions qui présente un grand intérêt et pourrait s'appliquer, d'une manière heureuse, malgré son apparente complication, à d'autres industries que celles de l'imprimerie.

J. Reyval.

LES EXPÉRIENCES DE TÉLÉGRAPHIE SANS FIL DE M. MARCONI

FAITES A BORD DU *CARLO ALBERTO*

Le lieutenant de la marine italienne Luigi Solari relate une suite d'expériences de télégraphie sans fil faites à bord du cuirassé *Carlo-Alberto*, dont les résultats vraiment prodigieux dépassent tout ce qui a été obtenu ou décrit jusqu'à ce jour.

Ce navire de guerre, parti de Naples le 10 juin dernier, se rendit en Angleterre à Portland. A partir du 18 juin des communications furent échangées avec M. Marconi qui se trouvait à la station du cap Lizard. Le 26 juin M. Marconi vint à bord du cuirassé italien et y fit adopter son nouveau cohéreur magnétique dont nous donnons plus loin une description détaillée. Il fut alors convenu que des expériences de communication à très grandes distances seraient poursuivies pendant le voyage du *Carlo-Alberto* entre ce navire et Poldhu, station du cap Lizard. Ces communications n'auraient été en aucune manière interrompues depuis cette époque jusqu'au 15 juillet, pendant toute la durée du voyage d'An-



gleterre en Russie, à Cronstadt. Lors du retour du navire italien les communications restèrent assurées depuis Cronstadt jusqu'au retour en Angleterre. De plus, lorsque le cuirassé rejoignit son port d'attache en Italie, la Spezzia, pendant toute la durée du trajet d'Angleterre en Italie, toutes les nuits des communications ininterrompues et très nettes ont pu être établies entre le cap Lizard et le *Carlo-Alberto* et cela jusqu'au 7 septembre, date à laquelle le cuirassé mouillé dans le port de Cagliari en Sardaigne communiquait encore avec le cap Lizard et recevait des télégrammes d'Angleterre d'une antenne située à vol d'oiseau à près de 1 800 km dont 1 000 km de continent. De Cronstadt au cap Lizard la distance à vol d'oiseau est d'environ 2 600 km dont 12 à 1 400 de continent.

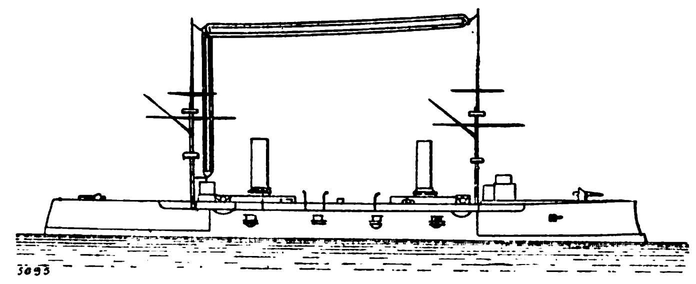


Fig. 1. — Quadruple antenne du *Carlo Alberto*.

Ces expériences ont été faites en présence de l'amiral italien Carlo Mirabello, du capitaine du bord Cesare Martini et du narrateur. Bien que les résultats obtenus soient vraiment incroyables, on n'ose pas douter, après l'affirmatif et circonstancié récit du lieutenant Solari qu'elles n'aient été réellement effectuées et couronnées de succès.

Nous allons tout d'abord faire connaître les dispositifs qui ont été employés, nous indiquerons ensuite quelques-uns des résultats que ces dispositifs ont, paraît-il, permis d'établir.

L'installation du *Carlo-Alberto* se réduisait aux seuls dispositifs de réception. Un système de fils disposés comme le montre la figure 1 constituait l'antenne. A cet effet un mât de perroquet supplémentaire, de 16 m de long fut placé au bout du mât d'artimon et une quadruple antenne y fut suspendue. Les points d'attache étaient soigneusement isolés au moyen de chaînes d'isolateurs de porcelaine et de tubes d'ébonite. Deux récepteurs Marconi à cohéreur à limaille communiquaient avec l'antenne ; on utilisait un transformateur accordé à la période des ondes émises par le poste de Poldhu. Les signaux étaient enregistrés au moyen d'un Morse. Trois détecteurs magnétiques étaient de plus associés à un téléphone. La figure 2 représente le schéma du poste récepteur du cuirassé.

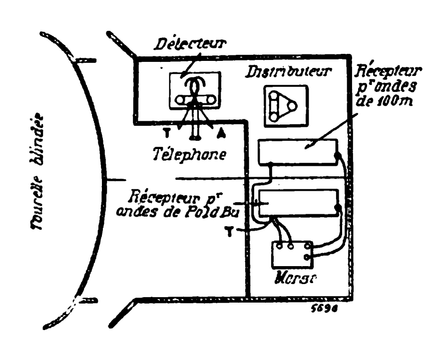
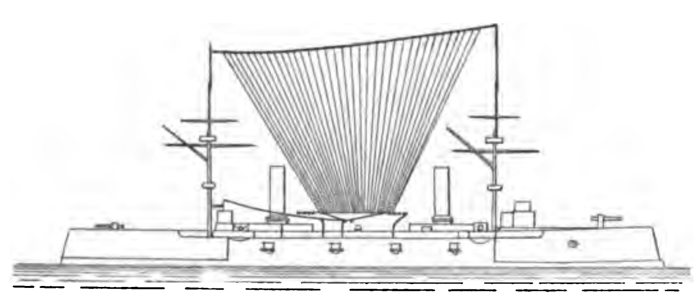


Fig. 2. — Schéma des dispositifs récepteurs installés à bord du *Carlo Alberto*.

La station de transmission de Poldhu est organisée de manière à produire de puissantes émissions d'ondes électriques. Les fils d'antenne sont constitués par quatre groupes de 100 fils de cuivre étamés suspendus par quatre câbles de fer isolés et tendus au moyen de 4 mâts de bois de 70 m de haut et distants de 60 m. Les quatre groupes de conducteurs se rejoignent à 4 m au-dessus du toit de la station et figurent ainsi une sorte de pyramide renversée. A l'extrémité supérieure du réseau ainsi formé les conducteurs sont à 50 cm les uns des autres. Pendant la transmission la tension à laquelle ces fils se trouvent est telle qu'à l'aide d'un conducteur relié au sol, on peut tirer de tout point de ces 400 antennes des étincelles de 30 cm de longueur.

Lorsque le cuirassé italien fut arrivé à Cronstadt, le 12 juillet, les signaux reçus de Poldhu (Cornouailles) ne donnaient au téléphone que des sons extrêmement faibles, on chercha alors à réaliser un meilleur accord entre la période d'oscillation des fils d'antenne du navire et celle des oscillations émises en Angleterre. A cet effet, un réseau de légers fils de cuivre étamés fut disposé comme le montre la figure 3. 50 conducteurs ayant tous même période d'oscillation propre furent tendus à partir d'un câble d'acier joignant le haut des deux mâts (grand mât de perroquet et artimon) jusqu'au tillac. A l'aide de cette nouvelle antenne les signaux envoyés de Poldhu devinrent plus perceptibles dans le téléphone.

Ce dispositif d'antenne fut encore changé lorsque le *Carlo-Alberto* revint de Russie. En vue des essais à faire d'Angleterre en Méditerranée, on consacra 20 jours (du 4 au 24 août) à faire, dans le port de Plymouth, l'installation suivante. De nouveaux mâts, plus élevés que ceux déjà utilisés, furent établis pour porter un réseau de 54 conducteurs fixés à 50 m au-dessus du pont.



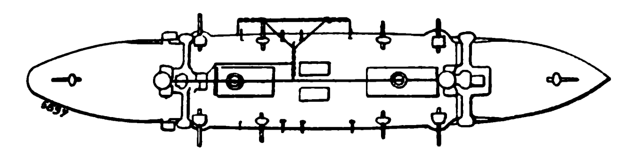


Fig. 3. — Réseau servant d'antenne au *Carlo Alberto*.

Le détecteur magnétique, récemment imaginé par M. Marconi et qui fut utilisé au cours de ces expériences, est basé sur la diminution de retard à l'aimantation que le fer éprouve quand il est soumis à l'influence des ondes électriques.

Il est constitué par une sorte de petit transformateur. Sur un noyau de fils de fer fins on enroule un premier circuit formé d'une ou de deux couches de fil de cuivre isolé. Séparé de ce premier circuit par un isolant est enroulé le circuit secondaire constitué par un fil de cuivre plus fin et plus long qui forme une bobine étroite. Le premier circuit est relié d'une part à la terre, d'autre part à l'antenne, ou bien encore avec le secondaire d'un des transformateurs que M. Marconi utilise sous le nom de jigger. Les extrémités du circuit secondaire (bobine étroite) sont reliées aux bornes d'un téléphone. Au voisinage du noyau de fil de fer on déplace un aimant de manière à produire par influence une sorte d'aimantation du noyau alternativement de sens contraires. Si l'on produit alors des ondes électriques, les variations de ces ondes provoquent dans le téléphone un son particulier très distinct. Le téléphone cesse d'émettre ce son dès que l'aimant mobile est éloigné du noyau ou arrêté. Le son cesse également dès qu'on cesse d'émettre des ondes électriques. D'après M. Marconi ce nouveau détecteur d'ondes serait plus sensible et plus sûr qu'un cohéreur.

Faisons maintenant connaître quelques-uns des résultats véritablement merveilleux qui ont été obtenus tant au cours du voyage de Cronstadt que lors du retour en Italie du *Carlo-Alberto*.

Communications de Poldhu au Carlo-Alberto pendant le voyage de Cronstadt. — Les transmissions du poste des Cornouailles (Poldhu) au cuirassé italien s'effectuaient d'après les conventions suivantes : De midi à 1 heure de l'après-midi, chaque jour, et de 1 heure à 3 heures du matin, chaque nuit, le poste de Poldhu envoyait pendant les dix premières minutes de chaque quart d'heure les lettres C. B suivies d'une longue série d'S, puis un message ayant trait à l'événement le plus intéressant du jour.



Le 7 juillet après avoir passé le Pas-de-Calais et doublé North Foreland, en présence de l'amiral Mirabello, du capitaine Martini et du lieutenant Solari, M. Marconi reçut très nettement les émissions de Poldhu. Une transmission par ondes électriques était ainsi obtenue à travers plus de 500 km de terre.

Le lendemain à midi 30, les télégrammes parfaitement enregistrés furent reçus au Morse. Distance : 750 km, dont 500 km sur terre et 250 km sur mer.

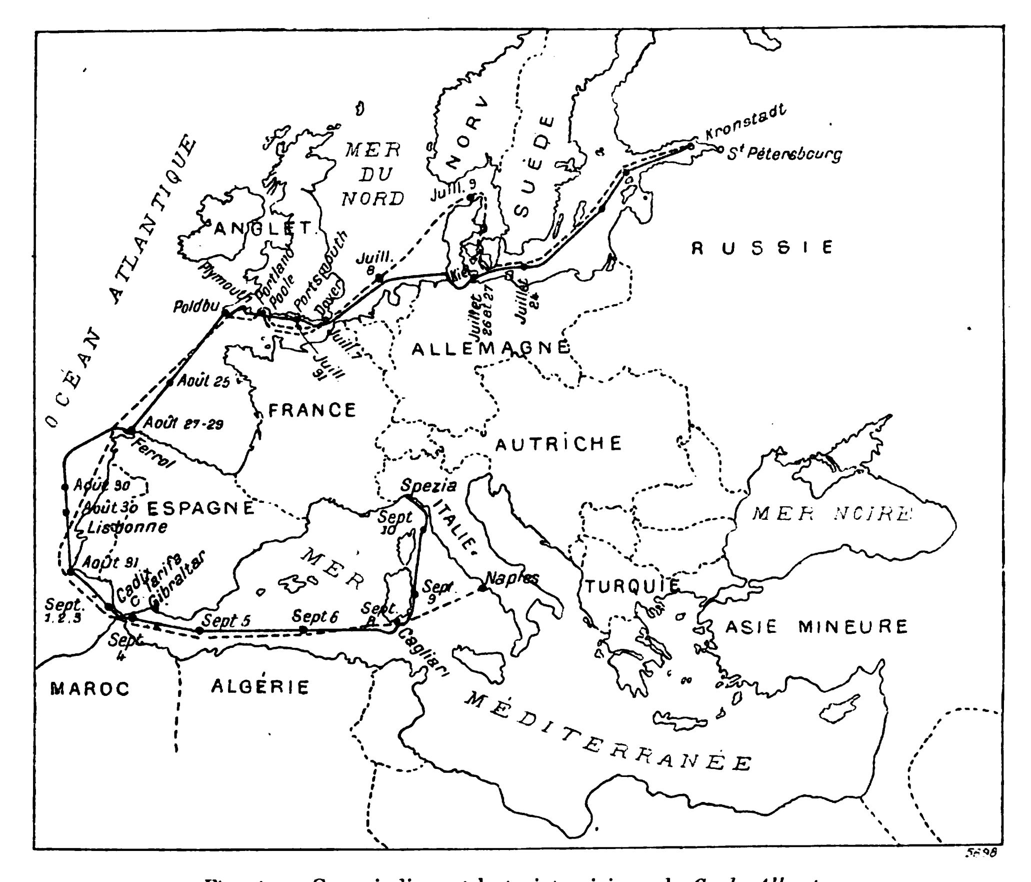


Fig. 4. — Carte indiquant le trajet suivi par le *Carlo Alberto*.

- - - - - Route suivie d'Italie en Russie. ———— Route suivie de Russie en Italie. o Positions occupées par le cuirassé au moment des communications avec le cap Lizard.

Après 1 heure de l'après-midi, le même jour 8 juillet, après que la réception de Poldhu eut cessé, le *Carlo-Alberto* entrait en communication avec les stations distribuées sur la côte d'Angleterre, North Foreland, Friton, etc.

Le même 8 juillet (1) (*sic*) à 1 heure la réception de Poldhu était reprise et bien que la distance fut alors de 900 km, les signaux furent reçus non seulement au téléphone, mais même au Morse.

A midi, alors que 1 000 km séparaient le cuirassé de la pointe des Cornouailles, la réception eut lieu, mais seulement au téléphone, et d'une manière très faible. Sans doute, écrit le narrateur, cet effet doit être rapporté à l'influence perturbatrice du soleil. La nuit

(1) Nous avons scrupuleusement indiqué les dates mêmes enregistrées par M. Solari, mais ce doit évidemment être du 9 juillet qu'il s'agit.



suivante, d'ailleurs, les signaux furent à nouveau reçus avec force et clarté, et purent être enregistrés au Morse, bien qu'alors la portion nord du Danemark se trouvât interposée entre le cuirassé et la station d'émission ; et il en fut de même pendant les nuits des 10 et 11 juillet, bien que les hautes montagnes de la Suède se trouvassent augmenter encore les obstacles interposés entre les stations communiquant.

Dans la nuit du 12 juillet, alors que le navire était à l'ancre à Cronstadt, les signaux reçus dans le téléphone furent très faibles. La raison en fut tout d'abord attribuée à la plus faible conductibilité de l'eau douce du port, mais lorsque, comme nous l'avons dit plus haut, la quadruple antenne du *Carlo-Alberto* fut remplacée par un réseau de 50 fils, la réception reprit nette et intense.

Pendant le retour de Cronstadt en Angleterre, la réception des signaux émis à Poldhu continua nette et distincte. A noter cependant le fait suivant : A 1 heure du matin, le 23 juillet alors que le navire était au nord-est de l'île de Gotland, dans la Baltique, se dirigeant sur Kiel (distance 2 000 km), les signaux reçus étaient si distincts, qu'on avait peine à croire, avoue le narrateur, qu'ils venaient des Cornouailles. Le même jour, à midi 30, les signaux devinrent très faibles et cessèrent presque d'être perçus. Le lieutenant Solari attribue ce fait à ce que le navire se déplaçant dans une direction perpendiculaire à celle qu'il suivait les jours précédents, le réseau de fils constituant l'antenne se présentait dans des conditions défavorables de réception pour les ondes émises à Poldhu. Nous remarquons, à ce propos, que pendant le parcours du cuirassé d'Angleterre en Russie, le réseau de conducteurs formant l'antenne a dû prendre toutes les inclinaisons par rapport à la direction d'où venaient les ondes, et cela par suite même des sinuosités du trajet. La raison invoquée ici nous paraît spécieuse.

A partir du lendemain 24 juillet jusqu'au retour en Angleterre (31 juillet), la réception redevint claire et distincte. On put même par un usage convenable de bobines de self et de capacités, empêcher les perturbations dues à l'électricité atmosphérique.

Communications de Poldhu au Carlo-Alberto pendant le retour en Italie. — Le cuirassé italien parti du port de Mullion le 25 août se dirigea vers le Ferrol (Espagne), position bien choisie pour déterminer les meilleures conditions de syntonie entre les organes récepteurs emportés par le navire et la puissante station de transmission du cap Lizard. Les 25, 27 et 28 août, le *Carlo Alberto* resta en communication constante avec Poldhu, et le 29, il entra dans le port espagnol du Ferrol où, en dépit des hautes montagnes qui entourent le pont, la réception se maintint nette et distincte. Parti du Ferrol pour Cadix le 30 août, le cuirassé continua à recevoir les signaux et télégrammes d'Angleterre. On remarqua toutefois dans la nuit du 30 au 31, en doublant le cap Saint-Vincent, qu'une notable diminution se produisit dans la force des signaux reçus, par l'interposition de l'énorme bande de terre formée par le Portugal et le Nord de l'Espagne (750 km). Les signaux reçus étaient alors émis à plus de 1 500 km du navire. Pendant le séjour à Cadix, la réception ne s'interrompit pas. Le 3 septembre, le cuirassé quittait Cadix, se dirigeant sur Cagliari (Sardaigne). En doublant Gibraltar, la réception des signaux et télégrammes se poursuivit, et il en fut de même jusqu'au 7 septembre, jour où le cuirassé toucha Cagliari. Pendant le séjour à Cagliari et pendant le voyage de Cagliari à la Spezzia, les signaux émis en Angleterre furent nettement reçus par le *Carlo Alberto*, malgré l'énorme épaisseur de continent montagneux interposé (plus de 1 000 km).

Comme conclusion à sa narration, M. Solari déduit de ces expériences qu'aucune limite ne semble assignée à la distance à laquelle peuvent être reçues des émissions d'ondes hertziennes, pourvu que l'énergie du transmetteur soit proportionnelle à la distance à parcourir.



Cette conclusion paraît en effet être assez légitime.

Depuis 1895, nous avons à plusieurs reprises envisagé la possibilité de communications télégraphiques hertziennes sans fils à de semblables distances et toujours, non seulement nous avons émis des doutes sur la réalisation de semblables communications, mais nous avons même très nettement affirmé qu'à notre avis, de tels résultats nous paraissaient impossibles à obtenir. Nous avouons que le récit (nous n'osons dire le conte, de trop nombreux témoins ont suivi ces expériences) de M. Solari, nous laisse encore un peu sceptique. Vu l'énergie énorme dépensée à Poldhu pour l'émission des signaux, énergie d'ailleurs dont le coût de production nous semble tout-à-fait disproportionné avec les services rendus, nous admettrions encore, pour les ondes reçues au moyen d'aussi gigantesques dispositifs, la possibilité de couvrir des distances de plusieurs milliers de kilomètres ; mais ce que nous avons peine à croire, c'est que, durant son voyage, le *Carlo-Alberto* n'ait en aucune manière été incommodé par les émissions produites par les nombreuses stations de télégraphie sans fil de tous systèmes distribuées sur son parcours [1]. Nous remarquons bien que très habilement M. Marconi a choisi, pour faire ses essais, les heures de la journée et de préférence de la nuit pendant lesquelles, vraisemblablement, tous les ports européens de télégraphie sans fil sont muets et inactifs. Nous sommes également très étonnés que la puissante station de Poldhu n'ait, en aucune manière, impressionné les nombreux récepteurs distribués sur toutes les côtes qui l'environnent, alors qu'elle actionnait le récepteur du *Carlo-Alberto*, situé à plus de 2 500 km. C'est évidemment la syntonie parfaite que M. Marconi vient de découvrir, en même temps qu'il permet aux ondes qu'il émet de se jouer des distances.

Comme il est regrettable que l'ingénieux inventeur italien n'ait pas cru devoir convoquer, pour suivre ses essais et les critiquer, des physiciens en renom s'étant spécialisés dans l'étude des phénomènes hertziens. Combien le témoignage de ces savants compétents, à quelque nation, d'ailleurs, qu'ils appartiennent, aurait été puissant pour entraîner la foi dans les résultats obtenus. Au contraire, M. Marconi semble avoir voulu jalousement être le seul parmi les spectateurs de ses récentes expériences, capable de les contrôler. Qu'il ne s'étonne pas, par suite, si nous n'en acceptons pas les merveilleux résultats sans quelques doutes.

A. TURPAIN.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

DIVERS

Magnétisation d'un ellipsoïde à trois axes dans un champ extérieur donné, par **N. Bulgakow.** Mémoire présenté au 11e Congrès des Naturalistes russes, Saint-Pétersbourg, 1901-1902 ; voir le *Journal de la Société physique et chimique russe*, t. XXXIV, 4 b 2, p. 16-17, 1902.

L'intégrale partielle de l'équation de Laplace en coordonnées elliptiques de Lamé affecte la forme $L_s^n M_s^n N_s^n$, où L_s^n satisfait à la relation

$$\frac{d^2 L_s^n}{d\alpha^2} = [n(n+1)\lambda^2 - (b^2 + c^2) z] L_s^n,$$

α étant $= \int_c^\lambda \frac{d\lambda}{\sqrt{(\lambda^2 - b^2)(\lambda^2 - r^2)}}$; z prend, pour chaque n, $2n + 1$ valeurs différentes et définies : z_s^n $(s = 1, 2, \ldots 2n + 1)$, pour lesquelles l'intégrale est continue à l'intérieur de l'ellipsoïde $\lambda = \lambda_0$.

Les fonctions M_s^n et N_s^n s'expriment au moyen

(1) Et cela, d'autant mieux que, d'après le récit même de M. Solari, le *Carlo Alberto* put au cours du voyage en Russie communiquer avec les stations de North Foreland, Friton, etc.

****



de μ et de ν de la même manière que L_s^n est défini au moyen de λ.

Une seconde intégrale de l'équation

$$\frac{d^2 F_s^n}{d\alpha^2} = [n(n+1)\lambda^2 - (b^2+c^2)z]\, F_s^n$$

est reliée à L_s^n par la relation

$$L_s^n \frac{dF_s^n}{d\alpha} - F_s^n \frac{dL_s^n}{d\alpha} = C.$$

On obtient $F_s^n = 0$, pour $\lambda = \infty$, si l'on met

$$F_s^n = -\, C L_s^n \int_\lambda^\infty \frac{d\lambda}{(L_s^n)^2 \sqrt{(\lambda^2-b^2)(\lambda^2-c^2)}}.$$

Les fonctions L_s^n et $\frac{dL_s^n}{d\lambda} > 0$, pour chaque $\lambda > 0$; la valeur de C doit être < 0, pour que $F_s^n > 0$.

Le problème de la magnétisation d'un ellipsoïde dans un champ extérieur donné se traite ainsi : le potentiel V du champ extérieur s'exprime par une série absolument convergente

$$V = \Sigma g_s^n L_s^n M_s^n N_s^n.$$

Les potentiels Ω_i et Ω_a, produits par la magnétisation, sont exprimés par les séries.

$$\Omega_i = \Sigma A_s^n L_s^n M_s^n N_s^n \quad \text{et} \quad \Omega_a = B_s^n F_s^n M_s^n N_s^n.$$

A la surface de l'ellipsoïde $\lambda = \lambda_0$, $\Omega_i = \Omega_a$, c'est-à-dire

$$A_s^n L_s^n = B_s^n F_s^n,$$

et de plus

$$\frac{\partial \Omega}{\partial n_i} + \frac{\partial \Omega}{\partial n_a} + (\mu - 1)\frac{\partial(\Omega_i + \nu)}{\partial n_i} = 0 ;$$

dans cette dernière équation, nous remplaçons $\frac{\partial}{\partial n_i}$ par $-\frac{d}{d\lambda}$ et $\frac{\partial}{\partial n_a}$ par $+\frac{d}{d\lambda}$, en négligeant $\frac{d\lambda}{dn_a}$.

C'est ainsi que nous obtenons :

$$-A_s^n \frac{dL_s^n}{d\lambda} + B_s^n \frac{dF_s^n}{d\lambda} - (\mu-1)(g_s^n + A_s^n)\frac{dL_s^n}{d\lambda} = c,$$

et ensuite,

$$\frac{A_s^n}{F_s^n}\left(L_s^n \frac{dF_s^n}{d\lambda} - F_s^n \frac{dL_s^n}{d\lambda}\right) - (\mu-1)(g_s^n + A_s^n)\frac{\partial L_s^n}{d\lambda} = 0.$$

Enfin,

$$A_s^n = -(\mu-1)\, g_s^n \frac{dL_s^n}{d\lambda} : \left(\frac{-C}{\sqrt{(\lambda^2-b^2)(\lambda^2-c^2)}F_s^n} + (\mu-1)\frac{dL_s^n}{d\lambda}\right).$$

Si, pour ν, on a une série absolument convergente, celle exprimant Ω_i sera convergente *a fortiori*.

A. Gradenwitz.

Sur un cas d'induction, par **de Heen**. Communication faite par M. F.-V. Develshauers-Dery, au 74me Congrès des Naturalistes et Médecins allemands; voir les *Verh. d. Deutsch. Phys. Ges.*, p. 278-279, 1902.

M. de Heen admet que les particules d'un corps électrique sont orientées d'une manière analogue à celles d'un aimant. Un courant électrique naîtra, dès qu'une cause extérieure aura produit cette orientation : un léger frottement y suffira. Si, par exemple, on fait frotter la roue métallique O sur le solide A, le galvanomètre G accusera un courant. On n'a point affaire ici à un effet thermo-électrique, car l'aiguille reviendra instantanément au zéro, dès qu'on aura cessé

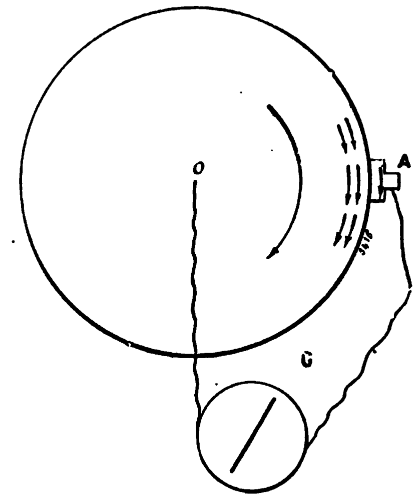


Fig. 1.

de tourner le disque ; or, une élongation due à la chaleur développée par le frottement devrait persister quelque temps.

En tournant le corps A sur son axe de 90°, on intervertit le courant, comme la position des éléments marqués par des flèches le fait supposer.

Cette induction par frottement peut être con-

sidérée comme s'attachant à l'induction unipolaire de Weber, bien que celle-ci soit favorisée par l'orientation magnétique des éléments.

A. Gradenwitz.

Recherches sur la décharge électrique à travers les gaz raréfiés, par **W. Wien.** *Drude's Annalen*, t. VIII, p. 244-267, juin 1902.

Dans le vide extrême (vide de Hittorf) la décharge proprement dite ne passe plus : cependant il se produit encore un transport d'électricité. Les rayons-canal font complètement défaut, mais il s'y propage encore des rayons cathodiques appréciables.

Quand on emploie une cathode incandescente (le filament d'une lampe, par exemple), on peut obtenir la décharge même dans le vide extrême sous une différence de potentiel assez faible. Il n'y a pas cependant de différence essentielle entre cette décharge et la décharge ordinaire : elle peut se produire dans les deux sens et si l'intensité est plus grande, cela tient seulement à l'augmentation de conductibilité du gaz provoquée par l'incandescence de l'électrode et au dégagement continuel de gaz conducteurs par cette électrode.

Fluorescence produite par les rayons-canal. — D'après Goldstein, les rayons-canal produisent sur le verre une fluorescence verdâtre et, en outre, dans le gaz, une fluorescence qui se distingue de la précédente par sa couleur et peut, dans des circonstances données, en paraître séparée. M. Wien observe ces mêmes phénomènes dans les tubes contenant les gaz préparés à la manière ordinaire. Mais quand le gaz est rigoureusement pur, sa nature influe sur la coloration de la fluorescence.

Dans un tube qui renferme de l'air, la fluorescence du verre est verte et jaune brun. La première est fortement déviée par un champ électrostatique, la deuxième très peu. Les rayons qui provoquent la fluorescence verte se diffusent moins que les autres.

Dans un tube contenant de l'hydrogène pur, la fluorescence est surtout verte, la partie la moins déviée est jaunâtre. Mais dès que la décharge a passé quelques secondes, la teinte devient jaune brun et cette nuance devient de plus en plus prononcée. Cette teinte jaune brun se produit aussi quand on laisse rentrer de l'air.

Dans la vapeur de mercure, la fluorescence est rouge brun, sans trace de vert : elle est beaucoup moins déviée par le champ électrostatique que dans l'air ou l'hydrogène. Il est d'ailleurs très difficile d'obtenir dans la vapeur de mercure une décharge régulière.

Dans l'oxygène, la fluorescence est brune, sans mélange de vert et se rapproche surtout de la précédente.

Déviation des rayons-canal par un champ électrostatique. — La déviation qu'un champ magnétique imprime aux rayons-canal est très variable, alors même qu'on maintient constante la différence de potentiel entre l'anode et la cathode. La fluorescence du verre est provoquée surtout par les rayons très déviables et celle du gaz, par les rayons peu déviables. Enfin, il se trouve aussi, dans le faisceau, des rayons qui ne sont pas déviés du tout. Si on compare la différence de potentiel entre les deux électrodes avec le rapport de l'énergie calorifique des rayons-canal à la quantité d'électricité qu'ils transportent, on trouve pour le rapport de la masse matérielle ε à la charge μ des nombres extrêmement variables, qui n'ont rien de commun avec ceux que donnent les autres méthodes.

Il est à supposer que ces variations de $\frac{\varepsilon}{\mu}$ tiennent à une séparation d'ions négatifs en quantités très diverses : il est possible encore que pendant leur trajet les électrons positifs empruntent de nouveau au gaz des ions négatifs.

On peut chercher à résoudre la question en mesurant simultanément la différence de potentiel entre les électrodes et la déviation des rayons-canal par un champ électrostatique.

Cette déviation est loin d'être uniforme : les rayons qui sont le plus déviés communiquent au verre une fluorescence d'une teinte brune plus accusée : ceux dont on ne peut observer avec certitude la déviation donnent une fluorescence de teinte plus verdâtre. D'après les mesures, les rayons peu déviés ont eu d'abord une charge plus grande par rapport à leur masse et ont repris pendant leur trajet des ions négatifs. Par suite la déviation électrostatique doit être trop petite : c'est le contraire qui devrait arriver si on supposait que tous les rayons-canal ne correspondent pas à la même chute de potentiel.



Accélération des rayons-canal. — On peut augmenter (ou diminuer) l'énergie des rayons-canal en leur faisant traverser un cylindre en cuivre, porté à un potentiel considérable négatif (ou positif).

Mesure simultanée de la déviation magnétique et de la déviation électrostatiques de rayons-canal. — L'appareil est installé de manière que les deux déviations se produisent suivant deux directions rectangulaires. Si on admet que le rapport $\frac{\varepsilon}{\mu}$ et la vitesse v varient d'une manière continue, la tache fluorescente doit prendre la forme d'une courbe continue. Lorsque le tube renferme de l'hydrogène pur, la tache fluorescente prend la forme d'une bande à peu près rectiligne, inclinée sur la direction des déviations. Par conséquent, la valeur de v_0 doit être la même pour tous les rayons déviés, mais $\frac{\varepsilon}{\mu}$ est variable et d'autant plus grand que la déviation magnétique est plus grande.

Pour une différence de potentiel de 30 000 volts, on trouve

$$\frac{\varepsilon}{\mu} = 7545 \qquad v_0 = 1,5\ 10^8\ \frac{\text{cm}}{\text{sec.}}$$

L'auteur avait trouvé précédemment pour une différence de potentiel de 9 000 volts

$$\frac{\varepsilon}{\mu} = 36\,000.$$

Le premier nombre se rapproche de celui qui correspond à l'ion d'hydrogène (10 000) ; la vitesse est aussi du même ordre de grandeur que la vitesse imprimée à cet ion par la chute de potentiel. On pourrait être tenté d'en conclure que les rayons-canal sont formés par les ions d'hydrogène eux-mêmes ; mais les autres propriétés ne s'accordent pas avec cette hypothèse.

Dans l'air, la tache fluorescente n'est plus rectiligne mais concave : la concavité tournée du côté de la direction de la déviation électrostatique. La vitesse v_0 n'est donc pas constante, mais diminue quand la déviation augmente.

Dans l'oxygène pur, la tache fluorescente est encore rectiligne ; la valeur calculée pour $\frac{\varepsilon}{\mu}$ (9 800 ou 7 500) est assez voisine de celle qu'on trouve dans l'hydrogène. La fluorescence produite par les rayons les plus déviables est plus faible dans l'air que dans l'hydrogène et dans l'oxygène elle est à peine visible.

En résumé, la seule conclusion ferme qu'on puisse tirer de ces expériences, c'est que la faible déviation d'une partie des rayons-canal est due à un changement du rapport de la charge à la masse qu'ils subissent pendant leur trajet. M.L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du 19 décembre 1902.

M. H. Poincaré, président, signale la modification que le Bureau des Longitudes se propose d'introduire dans la constitution de son Annuaire.

A partir de l'Annuaire de 1904 inclusivement, les renseignements fournis par l'Annuaire du Bureau des Longitudes seront publiés les uns tous les ans, les autres tous les deux ans. Chaque Annuaire contiendra environ 330 pages de données astronomiques qui seront publiées, les unes tous les ans, les autres tous les deux ans. Les données physiques seront imprimées dans les Annuaires de millésime pair. Les données statistiques ou géographiques seront imprimées dans les Annuaires de millésime impair.

Parmi les ouvrages reçus, signalons la première publication annuelle du Répertoire international de la littérature scientifique, Partie C : Physique, publiée, pour le Comité international, par la Société royale de Londres. (Londres, Harrison et fils, 45, Saint-Martin's Lane). Ce volume contient une partie de la littérature de 1901 ; il sera complété prochainement par un second tome.

M. Lippmann, dans une communication annoncée sous le titre : ***Sur la mesure absolue du temps***, résume les idées exposées dans deux publications antérieures : « Sur une unité de temps



absolue. Etalons électriques de temps et chronoscopes des variations » (*Comptes Rendus* et *Journal de Physique*, 1887) et « Sur la mesure absolue du temps, déduite des lois de l'attraction universelle (*ibid.* 1899).

Dans le système C. G. S., on mesure le temps au moyen de la seconde, qui est une unité arbitrairement choisie. Il serait possible d'évaluer le temps en mesure absolue, c'est-à-dire au moyen de quantités qui ne sont pas de la nature d'un temps. Par exemple, si dans la formule de Newton $f = \frac{kmm'}{r^2}$, on convient de faire $k = 1$, de la relation dynamique $f = m\gamma$ résulte entre les dimensions du temps, de la masse et de la longueur, l'équation :

$$\mathrm{M\,L^{-3} = T^{-2}}.$$

Le calcul numérique montre que l'unité de temps, choisie de telle façon que l'accélération newtonienne due à une masse unité placée à l'unité de distance soit égale à 1, a pour valeur 3862 secondes, soit 1 h. 4′22″.

Les phénomènes électriques nous fourniront un moyen de constituer un étalon de temps. M. Lippmann part du fait que, dans le système électrostatique, une résistivité a les dimensions d'un temps. Soit ρ la résistivité d'un fil métallique de longueur l et de section s ; le courant qui passera dans ce fil, si on maintient entre ses deux extrémités une différence de potentiel E, aura pour intensité $\frac{Es}{\rho l}$. Faisons passer ce courant dans une des branches d'un galvanomètre différentiel et envoyons dans l'autre branche, n fois par seconde, la charge que prend un condensateur de capacité C, sous l'action de la même différence de potentiel. Le courant moyen dû à ces décharges aura pour intensité nCE. L'équilibre s'établira si on a :

$$n = \frac{s}{\rho l C}$$

A l'aide d'un condensateur invariable et d'un fil métallique donné, on peut ainsi reproduire avec une grande précision, la fréquence n.

A la suite de cette communication M. J. Curie expose comment la loi de déperdition de la radioactivité induite permet de déterminer une constante de temps absolue [1].

M. Dongier expose comment il a fait, en commun avec le Dr **Lesage**, ***l'application de la mesure de la résistance électrique à l'étude des fermentations et de différents cas pathologiques*** [2].

L'appareil employé est celui d'Ostwald, dans lequel on utilise la méthode de Kohlrausch ; le téléphone est amené presque rigoureusement au silence, lorsque les électrodes sont bien platinées. M. Dongier cherche à simplifier encore la méthode pour qu'elle puisse se répandre plus facilement chez les médecins. Une modification conseillée par M. Lippmann consiste à remplacer la résistance métallique qui forme une des branches du pont, par une résistance électrolytique dans laquelle plongent deux électrodes platinées de même forme que celles qui servent pour le liquide à étudier. Les étalons ainsi constitués paraissent parfaitement constants. M. Dongier espère que l'appareil ne tardera pas à devenir d'un usage aussi courant que le réfractomètre ou le polarimètre. L'étude de la résistivité permettra de définir plus nettement les toxines et de baser une classification des microbes pathogènes sur le sens et la grandeur de la variation qu'ils impriment à la résistance électrique du sérum.

M. Dongier dit quelques mots d'un mémoire **M. Williams**, ***Sur les variations de longueur et de résistivité causées dans le nickel par un champ magnétique,*** paru dans le *Philosophical Magazine* du mois d'octobre dernier. La longueur et la résistance vont en croissant suivant des lois sensiblement identiques jusqu'à un champ de 1 300 unités C. G. S. M. Dongier avait fait des mesures de résistance à l'aide d'un électroaimant de M. Limb, qui peut donner, dans un centimètre cube un champ de 38 000 unités pour un courant de 140 ampères et qui donne couramment 30 000 unités. La résistivité croît de 0,015 environ jusqu'à un champ de 1 500, puis elle décroît jusqu'à un champ de 10 000 des trois quarts de cette augmentation. C. R.

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, du 6 décembre, p. 351

[2] Voir en particulier, *L'Éclairage Électrique*, du 2 août 1902, p. 172, t. XXXII.



INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS

SECTION LOCALE DE NEWCASTLE

Notes sur l'influence de l'équipement des sous-stations et des lignes de transmission sur le coût des distributions d'électricité, par **Andrew Stewart.** (¹) *Journal of the Inst. of El. Eng.*, t. XXXI, p. 1122-1143, n° de juin 1902.

Dans cette communication, l'auteur a pour objet de rechercher à quel point la transmission et la transformation de l'électricité, distribuée dans un grand rayon au moyen de sous-stations, influe sur les résultats techniques et financiers de ces exploitations.

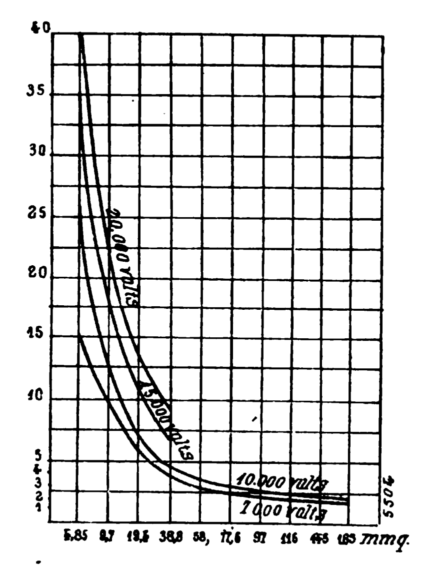


Fig. 1. — Rapport entre les prix de l'isolant et le prix du cuivre en fonction de la section, pour diverses tensions.

A commencer par la transmission, l'auteur examine dans un câble le coût de l'isolation et de la protection mécanique (armature). La figure 1 donne, à diverses tensions, les variations du rapport des prix de l'isolant à ceux du cuivre. Il en ressort ce fait que, aux tensions très élevées et pour les faibles sections, le prix de l'isolation devient capital.

Il est à prévoir, en effet, que le coût du cuivre variant en raison inverse du carré de la force électromotrice et celui de l'isolation à peu près en raison directe de cette force électromotrice, il arrive un point où il n'y a plus d'économie à employer des tensions plus élevées.

La figure 2 indique le poids approximatif de cuivre nécessaire pour transporter 1 000 kilowatts à 16,09 km (10 milles) avec une perte de 10 p. 100 en pleine charge, pour des tensions de

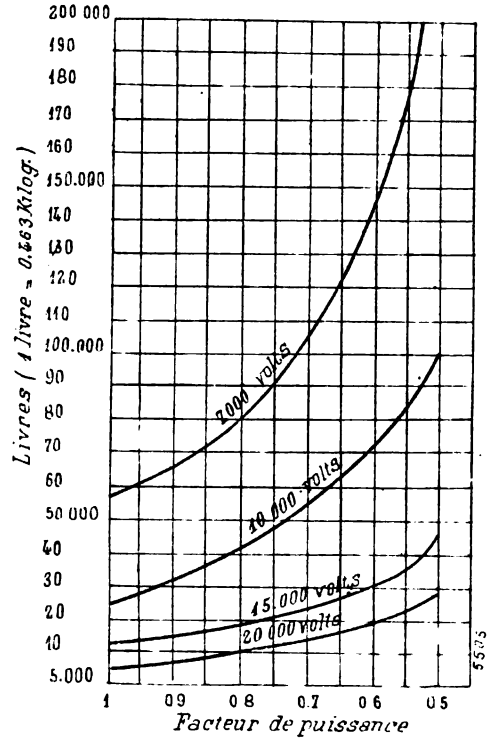


Fig. 2. — Poids de cuivre en fonction du facteur de puissance pour diverses tensions de transmission.

7 000, 10 000, 15 000 et 20 000 volts entre deux conducteurs triphasés, le facteur de puissance variant de 1 à 0,5 (¹).

La figure 3 représente, dans les mêmes conditions que la figure 2, le prix du cuivre, de l'isolation, et le prix total d'un câble à trois conducteurs torsadés. Ces courbes montrent qu'il y a ici une tension la plus économique et située dans le voisinage de 15 000 volts (²).

(¹) Mémoire présenté à la séance du 27 janvier et discuté à la séance du 3 février 1902.

(¹) L'auteur choisit un rendement de 90 p. 100 pour la ligne et rappelle à ce sujet que le rendement doit être pris plus ou moins élevé suivant le coefficient d'utilisation et suivant la durée du régime de pleine charge journalière.

(²) Le facteur de puissance de 0,9 est admis dans le cas où l'on emploie de grands moteurs asynchrones ayant une courbe de même forme que celle de la génératrice ; si cette condition n'est pas remplie, il ne faut pas espé-



L'auteur considère, dans les mêmes conditions, l'emploi de deux câbles ayant une section de cuivre moitié moindre que le précédent; la tension économique est à peu près la même, mais l'influence de l'isolation est bien plus considérable et le prix total est de plus de 60 p. 100 plus élevé (12 300 £ au lieu de 7 600) [1].

Il ressort de toutes ces figures que le coût élevé de l'isolation fait perdre le bénéfice des hautes tensions et que les tensions de 7 000 à 15 000 sont plus économiques avec les canalisations souterraines que celles utilisées en certains points du continent et de l'Amérique. Cependant si les puissances à transmettre deviennent énormes, l'influence de l'isolation est moindre et la tension la plus économique peut très bien s'élever au-dessus de 15 000 volts.

La sous-station. — L'auteur aborde ensuite la question des sous-stations au point de vue économique [2]. Il établit une comparaison entre six stations de diverses puissances et équipées au moyen de six systèmes différents de conversion. Il admet que le coût de la station génératrice est de 25 £ (625 fr) par kilowatt. En admettant 20 p. 100 de réserve, le coût par kilowatt disponible sera de 31,2 £; avec un facteur de diversité de 1,5 le coût par kilowatt de demande maximum sera de 20,8 £.

Dans ce qui suit, l'auteur admet que la station réceptrice est de 1 250 kilowatts, à 2 groupes de 500 et un de 250 kilowatts, avec une charge maxima de 750 kilowatts; de telle sorte qu'il y aura un groupe de 500 en réserve, celui de 250 suffisant au débit de jour; on réalisera ainsi une combinaison économique avec un coefficient d'utilisation de 30 à 40 p. 100.

La sous-station sera pourvue de convertisseurs synchrones ou asynchrones, ou de commutatrices à 3 ou 6 phases; ou d'une combinaison de ces systèmes [1].

Les dépenses de capital seront les suivantes :

		MOTEURS-GÉNÉRATRICES		COMMUTATRICES	
		asynchrone	synchrone	Triphasées	Six-phasées
Groupe de 500 kw.	Coût total	68 875 fr	68 875 fr	59 250 fr	53 250 fr
	Par kilowatt	137 »	137 »	109 »	106 »
Groupe de 250 kw.	Coût total	43 750 »	43 750 »	32 800 »	31 225 »
	Par kilowatt	175 »	175 »	131 »	125 »

Les rendements seront, en p. 100 :

		Gr. asynchrone	Gr. synchrone	Commutatrices (y compris transform.).
Groupe de 500 kw.	Pleine charge	86	86,5	92
	3/4 de charge	84,3	85	90,5
	1/2 charge	81,5	81,5	88
Groupe de 250 kw.	Pleine charge	84	84,3	90
	3/4 »	82,5	82,5	89
	1/2 »	78,5	78,5	86

---

rer, même avec des moteurs synchrones, obtenir un facteur de puissance voisin de l'unité.

(1) Dans le cas, où la station génératrice alimente deux sous-stations A, B assez voisines, il est, comme le fait remarquer l'auteur, tout indiqué de relier A à B par une ligne de secours. Mais quand la sous-station est isolée, l'auteur doute qu'il y ait des ingénieurs qui se contenteraient d'un câble unique si bien établi qu'il soit.

(2) Au préalable, il rappelle les caractères des divers moyens de conversion du courant alternatif en courant continu. Au point de vue technique, le groupe moteur génératrice avec moteur asynchrone lui paraît réaliser le plus d'avantages, entre autres, la simplicité des connexions et du couplage, l'indépendance des tensions continue et alternative et la facilité du réglage de la première, l'innocuité des surcharges sur les autres moteurs asynchrones du système, la possibilité de supprimer tout transformateur fixe, l'inutilité d'une mise en phase, etc. — Le groupe à moteur synchrone possède, d'autre part, un facteur de puissance d'un réglage très étendu propre à combattre le décalage dû aux moteurs asynchrones; il supporte de fortes surcharges, mais s'il se décroche il ne peut se remettre en phase de lui-même; l'excitation à courant continu et la mise en phase sont ses principaux inconvénients. La commutatrice les possède aussi, mais son bas prix et son rendement élevé lui ont valu un succès prépondérant.

(1) Les groupes de faible puissance seront asynchrones pour faciliter le démarrage, et les grandes machines seront synchrones en donnant un facteur de puissance voisin de l'unité.



	I	II	III	IV	V
	Moteur-génératrice synchrone. Ligne à 15000 v. Deux câbles à 3 cond. dont un de réserve (à tirage dans tuyaux en fonte).	Moteur-génératrice asynchrone. Facteur de puissance 0,9 Ligne à 15000 v. id.	Commutatrice 15000 volts. id.	Moteur-génératrice synchrone. 3 câbles dont un de réserve 15 000 volts id.	Commutatrice 6 phases 15 000 volts. Ligne aérienne à 6 conducteurs.
Machines de la sous-station	£ 7 250	7 250	6 062	7 250	5 505
Bâtiments	900	900	750	900	750
Cuivre des lignes	1 000	1 210	1 000	750	} 3 438
Isolation	13 000	14 000	13 000	16 500	
Pose et installation	5 873	5 873	5 873	6 450	
	£ 28 023	29 233	26 685	31 860	9 693
Par kilowatt installé	£ 22,5	22,9	»	25,4	7,72
» de demande maxima (750 kw.)	£ 37,5	39	35,5	42,3	12, 8
Station génératrice (par kilow. de demande maxima)	£ 20,8	20,8	20,8	30,8	20, 8
Coût total par kw. de demande maxima.	£ 58,3	59,8	56,3	63,1	32, 8
Dépenses annuelles fixes par kilowatt.					
Intérêt à 3 p. 100 (£ 58,3)	£ 1 15 0	1 16 0	1 13 9	1 17 10	1 0 0
Amortissement 7 p. 100 station	1 8 7	1 8 7	1 8 7	1 8 7	1 8 7
» 7 p. 100 sous-station	0 14 7	0 14 7	0 12 8	0 14 7	0 11 9
» { 5 p. 100 feeders / 1 p. 100 conduits }	1 0 3	1 2 0	1 0 5	1 4 3	0 2 8
	£ 4 18 5	5 1 2	4 15 4	5 5 3	3 3 0
Dépenses courantes.					
Salaires à l'usine	0 12 3	} 0 15 0	0 15 0	0 15 0	0 15 0
Surveillance et administration	0 2 9				
Total	£ 5 13 5 (139,90 fr).	5 16 2 (164,40 fr).	5 10 4 (137,40 fr).	6 0 3 (150,30 fr).	3 18 10 (96,10 fr).
Coût du kw-h. à la station	0,3 d	0,3 d	0,3 d	0,3 d	0,3 d
Coût du kw-h. à basse tension	0,373 d (0,0373 fr)	0,387 d (0,0387 fr)	0,343 d (0,0343 fr)	0,382 d (0,0382 fr).	0,338 d (0,0338 fr).
Consommateur à demande maxima de 100 kw et moyenne de 70 kw pour 24 h.					
Coût de l'énergie	£ 950	962	876	972	365
Dépenses fixes	565	580	550	600	390
Coût moyen du kilowatt-heure	£ 1,515 0,59 d (= 0,059 fr)	1 542 0,62 d (= 0,061 fr)	1 426 0,558 d = (0,0558 fr)	1 572 0,62 d = (0,062 fr)	1 255 0,49 d (= 0,049 fr)
Consommateur à demande maxima de 100 kw et moyenne de 70 kw pour 10 h.					
Coût de l'énergie	£ 400	403	366	408	360
Dépenses fixes	565	580	550	600	390
Coût moyen du kilowatt-heure	965 0,9 d (= 0,09 fr).	983 0,92 d (= 0,092 fr)	916 0,852 d (= 0,0852 fr)	1 008 0,94 d (= 0,094 fr)	750 0,7 d = (0,07 fr)
Consommateur à demande maxima de 100 kw pour 1 h. par jour.					
Energie	£ 57	57 10 0	52 5 0	58	51 8 0
Charges fixes	565	580 0 0	550 0 0	600	390 0 0
Coût moyen du kw-h.	622 4,1 d (= 0,41 fr.)	637 10 0 4,2 d (= 0,42 fr)	602 5 0 3,92 d (= 0,39 fr).	658 4,32 d (= 0,432 fr)	441 8 0 2,9 d (= 0,29 fr)



Avec la puissance maxima de 750 kilowatts et un coefficient d'utilisation de 38 p. 100, on pourra pourvoir à la demande avec le groupe de 250 kilowatts, fonctionnant vingt-quatre heures et un groupe de 500 kilowatts, pendant quatre heures. Le petit groupe à 80 p. 100 de sa capacité aura un rendement de 83 p. 100, celui de la ligne, à cette faible charge, peut être pris de 99 p. 100, de sorte que le rendement de la

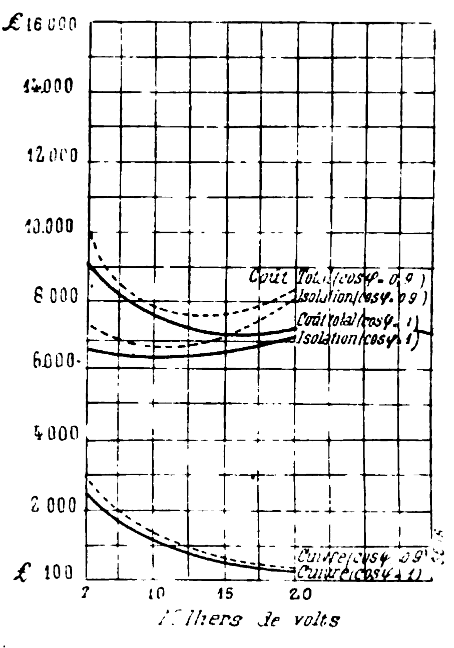


Fig. 3. — Prix d'un câble en fonction de la tension.

transmission et de la transformation pour le petit groupe est de 82,5 p. 100. Quand le groupe de 500 kilowatts sera utilisé, le rendement de la ligne ne sera plus que de 95 p. 100 environ, qui, combiné avec celui de 84,3 p. 100, donnera un rendement final pour ce groupe de 80 p. 100. On en déduit aisément l'énergie à fournir par la station génératrice et le rendement total qui sera de 81,2 p. 100.

L'auteur établit, avec beaucoup de détails, le coût et le revenu des stations génératrices avec sous-stations de divers systèmes; nous résumerons les résultats dans le tableau ci-contre qui met en relief l'influence prépondérante des canalisations. L'auteur déplore vivement les règlements prohibitifs du Board of Trade au sujet des canalisations aériennes; il en résulte que la fourniture aux consommateurs de faible durée devient onéreuse et que ce sont les bons consommateurs qui doivent payer pour les moins importants.

Dans cette étude, l'auteur n'a pas abordé la question de la distribution par courants polyphasés à basse tension; il estime cependant que ce système de distribution secondaire est appelé à supplanter les autres.

Discussion. — Dans la discussion qui suit cette communication, M. Heaviside pense aussi que la méthode économique d'établir les grandes distributions consiste dans l'emploi des canalisations aériennes et de la transformation directe, sans conversion.

M. R.-L. Dobbie fait remarquer, au sujet des caractères de la commutatrice, qu'à égale élévation de température, elle supporte bien mieux les surcharges (jusqu'à 75 à 100 p. 100) que les moteurs asynchrone et synchrone, ce dernier se décrochant à 25 p. 100 de surcharge.

Répondant à diverses remarques de M. Snell, président, M. Stewart, ne prétend pas attribuer à ses chiffres une valeur absolue; ils renseignent seulement sur l'économie relative des divers systèmes de transmissions et de sous-stations. Quant au prix de 0,03 fr qu'il a adopté comme coût de production du kilowatt-heure, ce prix ne comprend que les frais d'exploitation et peut être facilement atteint avec un coefficient d'utilisation supérieur à 30 p. 100, que les grandes stations de l'avenir réaliseront certainement. P.-L. C.

Section locale de Birmingham

Essais de lampe Nernst, par **R.P. Hulse.** (1) *Journal of the Institut. of El. Eng.*, t. XXXI, 1180-1199, n° de juin 1902.

Ces essais ont été effectués au laboratoire de l'Université de Birmingham, sur des lampes du modèle 1902. Ils comprennent des mesures de durée, de pouvoir lumineux et de consommation, portant toutes sur des lampes de 100 watts, à 110 volts (2). L'essai de durée n'a été interrompu que pour quelques secondes, pendant sept semaines.

(1) Mémoire lu à la séance du 19 mars 1902.

(2) Les essais photométriques ont été faits par comparaison avec une lampe étalon Edison-Swan, au moyen d'un photomètre de Bunsen; l'intensité est prise dans le plan horizontal, le filament étant vertical.

Essais de durée. — Dans tous les essais, on a constaté, pendant la première demi-heure, une chute d'intensité de 25 p. 100 pour les lampes forcées, et de 10 p. 100 pour les lampes à la tension normale, puis la chute est moins marquée et dépend des conditions de fonctionnement.

A la tension normale, après 400 heures, il y a une nouvelle chute très accentuée, puis une hausse légère jusqu'à l'extinction. La durée moyenne pour 3 lampes a été de 473 heures; la destruction, dans les trois cas, provenant de la rupture du contact de platine à l'extrémité positive de la tige.

En admettant que le prix du kilowatt-heure est de 0,60 fr et que le coût du brûleur, de la monture, y compris l'amortissement de la lampe et de la résistance, revienne à 3,60 fr, l'auteur trouve que la durée après laquelle il est plus économique de remplacer la lampe est de 350 heures, point bien plus rapproché de la durée effective de la lampe qu'il ne l'est dans les lampes à incandescence ordinaires [1].

La dépense, à ce moment, est en moyenne de 0,00147 fr par bougie-heure, tandis que la meilleure lampe à incandescence donne un résultat supérieur à 0,002 fr.

Le régime de tension forcée ne se traduit pas par un gain considérable dans le rendement, comme pour les lampes ordinaires. La résistance en fer constitue une protection contre l'élévation de la tension; mais si, néanmoins, on augmente d'une façon appréciable le courant dans la lampe, les joints de la tige se détériorent, la résistance en fer consomme une proportion d'énergie plus grande et la durée de la lampe, pour un régime à 116,5 volts, est limitée à 220 heures environ.

Avec un régime de tension inférieure à la tension normale (105,8 volts), la durée est de 1 306 heures, mais la puissance lumineuse diminue constamment, de même que le rendement et, vers la fin, l'éclat et la blancheur caractéristiques de la lampe Nernst disparaissent.

[1] D'après les indications de Ayrton et Carter, l'auteur rappelle que l'on trouve ce point critique en construisant la courbe de la relation existant entre le prix de l'énergie dépensée et le pouvoir éclairant en bougies-heure obtenu. A partir de l'origine on porte une abscisse négative égale au prix du remplacement de la lampe et du point obtenu on mène une tangente à la courbe précédente; le point de contact correspond à la durée critique.

Essai à courant constant. — Dans les conditions ordinaires (tension constante), le courant baisse d'une façon notable, ainsi que l'éclat et le rendement. Mais en maintenant le courant

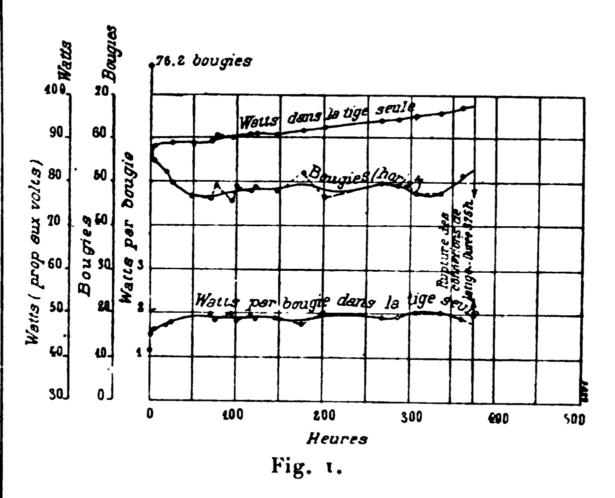


Fig. 1.

constant, la puissance lumineuse, après la chute initiale, demeure constante; puis, au moment où, dans le régime ordinaire, une nouvelle chute se produit, il y a au contraire, avec le

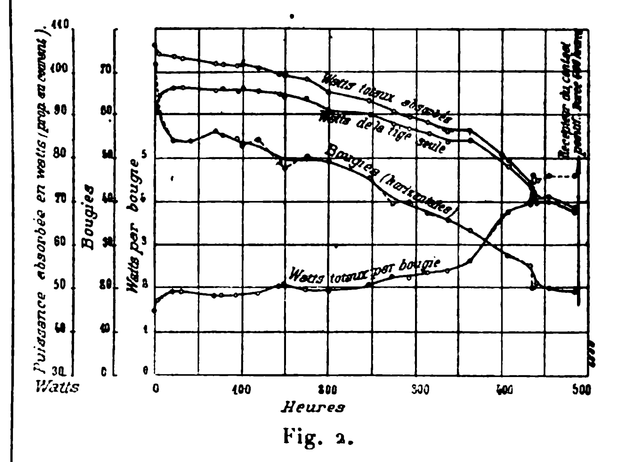


Fig. 2.

courant constant, un relèvement jusqu'à la destruction de la lampe. Parmi les nombreux diagrammes cités par l'auteur, nous reproduisons les deux figures ci-contre (fig. 1 et 2), qui mettent bien en évidence ce fait important en pratique. La durée de la lampe est de 372 heures; l'énergie totale absorbée dépend naturellement de la résistance en série nécessaire pour maintenir le courant constant, et l'auteur ne l'indique pas [1].

[1] L'auteur a effectué aussi un essai à puissance cons-



Comme conclusion, l'auteur indique comme rendement moyen 0,48 bougie par watt au lieu de 0,28 avec les meilleures lampes à incandescence. La dépense de renouvellement des lampes Nernst est, par contre, triplée; elle fournit, d'autre part, 1 000 bougies-heure au prix de 1,10 fr (0,40 fr le kilowatt-heure), tandis qu'il faut compter 5,50 fr avec les lampes à incandescence, y compris le renouvellement des lampes. L'auteur suggère, enfin, comme économique, le remplacement, après 200 heures, de la résistance en fer par une autre d'une valeur plus faible afin de maintenir le pouvoir lumineux pendant toute l'existence de la lampe. P.-L. C.

DEUTSCHE ELEKTROCHEMISCHE GESELLSCHAFT

Congrès de Wurzburg [1]

Les rayons de Becquerel et les substances radioactives, par le professeur Dr **F. Giesel**. — *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. VIII, p. 579.

On sait que Becquerel attribuait, au début, l'existence de rayons de Röntgen à la phosphorescence du verre du tube à vide. Il recherchait si les corps fluorescents et phosphorescents peuvent envoyer par eux-mêmes des rayons de Röntgen et trouvait que le sulfate d'uranium et de potassium impressionne la plaque photographique au travers de papier noir ou de feuille d'aluminium, après plusieurs semaines d'exposition. Mais Becquerel trouvait bientôt qu'il n'était pas du tout nécessaire d'illuminer le sel d'uranium et que l'uranium métallique, qui n'est pas fluorescent, est actif. Il découvrait ainsi la propriété extraordinaire de l'uranium et de ses sels d'envoyer d'une façon ininterrompue des rayons qui se comportent comme des rayons X de moindre intensité.

A cette époque cependant, un nombre très limité de physiciens s'occupait de ces phénomènes parce qu'on avait été rendu méfiant par la lumière noire de Le Bon et par d'autres erreurs.

Antérieurement Elster et Geitel avaient trouvé qu'en dehors des métaux électropositifs, les substances phosphorescentes possèdent la propriété de disperser l'électricité négative par illumination. Ils constataient aussi que les sel d'uranium provoquaient spontanément la dispersion de l'électricité, indépendamment de la polarité et de l'illumination.

Pendant que l'on s'efforçait de découvrir la source d'énergie des rayons de Becquerel ou d'uranium, Curie publiait ses travaux sur le polonium et montrait que l'uranium n'est pas le seul ni le plus important corps radioactif des minerais d'urane. Le nouveau corps permettait une étude beaucoup plus approfondie des rayons de Becquerel, puisque l'intensité de ceux-ci devenait ici 100 000 fois plus grande qu'avec l'uranium.

Curie a démontré ce fait important que la radioactivité est une propriété atomique parce qu'elle se retrouve de la même manière dans toutes les combinaisons. C'est ainsi que le phosphore rend l'air anormalement conducteur non seulement à l'état ordinaire, mais aussi dans sa modification rouge et dans ses combinaisons. Cette propriété est bien une conséquence de la phosphorescence, et Le Bon a constaté également la radioactivité sur le sulfate de quinine phosphorescent.

Après le polonium furent découvertes les propriétés particulières du radium. Depuis sont venus s'ajouter à ces corps d'autres substances radioactives, mais l'existence de certaines est encore douteuse. Il faut songer en effet que le traitement de tonnes de minerais d'urane ne donne que quelques milligrammes de substances encore impures.

La preuve de la radioactivité est donnée par une réaction d'une telle sensibilité qu'elle laisse loin derrière elle les réactions spectrales. La plaque photographique particulièrement permet de reconnaître, par la durée d'exposition, des quantités de substance à l'état de traces extraordinairement faibles.

Dans l'état actuel de nos connaissances, on peut grouper les substances radioactives en trois classes : 1° celles qui sont fortement actives et d'activité constante ; 2° celles qui sont faiblement actives, mais d'activité constante; 3° celles dont l'activité, faible ou forte, diminue avec le temps.

Au premier groupe appartiennent le radium, l'actinium de Debierne et les substances encore inconnues trouvées par l'auteur, en combinai-

tante dans la tige; le rendement moyen est légèrement supérieur à celui de l'essai à tension constante, et la durée de la lampe n'est pas diminuée.

[1] Voir *Écl. Élect.*, t. XXXIII, p. 286, 357 et 460, 22 novembre, 6 et 27 décembre 1902.

son avec le plomb, dans les eaux-mères du radium. Le radium est caractérisé par son spectre ; l'actinium a seulement donné les raies du thorium. Quant à la matière de l'auteur, Demarçay a observé avec elle deux raies qui n'existent dans aucun autre corps connu.

Dans le deuxième groupe rentrent l'uranium et le thorium, mais il n'est pas encore certain que ces corps ne doivent pas leur radioactivité à la présence de traces des substances de la première catégorie ou d'autres matières radioactives encore inconnues.

Les éléments du troisième groupe : polonium (bismuth), terres rares dérivées de l'urane, plomb actif, ne doivent très vraisemblablement leur radioactivité passagère qu'à l'induction sous l'influence des groupes 1 ou 2. C'est Rutherford qui a le premier observé que l'air qui a passé sur l'oxyde de thorium non seulement conserve quelque temps l'action déchargeante, mais encore possède la propriété de rendre actifs momentanément d'autres corps. M. et Mme Curie ont obtenu des actions semblables mais encore plus intenses, simplement en enfermant dans le même vase le radium et le corps à rendre actif. On peut aussi employer deux vases différents à condition qu'ils soient réunis par l'air, ne serait-ce qu'au travers d'un orifice capillaire. L'induction s'éteint, comme dans le vide, lorsque la liaison par l'air est interrompue. La pression et la nature du gaz sont sans influence.

Comme ainsi l'induction n'est pas produite par les rayons de Becquerel eux-mêmes, Rutherford a émis la supposition que l'oxyde de thorium, en dehors des rayons, envoyait encore une « émanation ». Comme comparaison, on peut rappeler ici les propriétés du musc ; la nouvelle émanation pouvant provenir des quantités les plus minimes de la substance. A la vérité, Curie n'est pas parvenu à enlever, par lavage à l'eau, l'activité du platine induite par l'emploi d'une solution de sel de radium. Par contre Rutherford a pu, à l'aide de l'acide chlorhydrique, faire disparaître l'activité du platine induite par le thorium.

L'expérience est très démonstrative lorsqu'on choisit comme corps à rendre actif une substance phosphorescente qui permet ensuite d'observer l'activité induite.

L'induction devient rapide et intense quand le le sel de radium est chauffé au point de perdre son eau de cristallisation, le rayonnement du sel diminuant alors en même temps considérablement. La solution hydratée du sel de radium induit également, quoique beaucoup plus lentement. Ce fait a une grande importance théorique, car il prouve que l'activité du radium n'est pas éteinte quand ce corps est à l'état de dissolution bien qu'il émette à peine de rayons de Becquerel.

D'après l'auteur, l'eau joue un rôle essentiel et est rendue active par le radium. C'est ainsi qu'une solution de bromure de radium, exempt d'eau, dans l'alcool méthylique donne une action inductrice beaucoup plus faible que dans l'eau.

Bien entendu, l'action inductrice a lieu lorsqu'on porte en contact direct avec le radium la substance à rendre active, en solution hydratée. On rend ainsi fortement actif le plomb, le bismuth, le thorium. Avec l'actinium, Debierne a même pu obtenir le baryum ordinaire actif, mais se distinguant du radium par l'absence des raies de celui-ci et par la disparition rapide de l'activité.

Comme preuve de l'existence du radium, on peut citer son spectre caractéristique et son poids atomique très différent de celui du baryum. Demarçay a nettement déterminé ce spectre à l'aide de quelques milligrammes de radium presque pur. Quant au poids atomique exact il exige des quantités plus grandes de matière. Les recherches entreprises par Mme Curie fixeront bientôt ce point. Cependant très caractéristique est ce fait qu'en avançant de plus en plus dans la séparation du mélange avec le baryum, non seulement les raies du radium apparaissent de plus en plus nettes, mais encore le poids atomique s'élève, en même temps que croît l'activité.

En dehors des différences de solubilité des sels de radium et de baryum, on n'a pas encore trouvé de réactions chimiques caractéristiques. Ces propriétés si voisines des deux corps rendent surprenant ce fait qu'on ne trouve pas le radium en compagnie du baryum dans tous les minerais de celui-ci mais seulement avec la petite quantité de baryum que renferme le minerai d'urane. Aucun autre minerai actif n'a pu être trouvé ne renfermant pas d'uranium ou de thorium. Peut-être est-il possible de transformer le radium en baryum comme l'a déjà recherché von Lengyel. Une telle synthèse n'est pas impossible, d'après nos idées modernes.

Les rayons cathodiques et les rayons de Becquerel qui obéissent à l'influence du magnétisme ont donné un appui à la conception des ions gazeux et des électrons.

Cette hypothèse de l'atome décomposable en sous-atomes plus ou moins chargés ne manquent pas de bases expérimentales. On a montré que les électrons positifs sont plus inertes, les électrons négatifs plus facilement mobiles et plus petits. D'après cela, les substances radioactives envoient des électrons négatifs dont la vitesse serait, d'après les expériences de Kauffmann, presque comparable à celle de la lumière.

Kauffmann a exécuté ses recherches sur un tout petit grain de radium, dans le vide. Les rayons émis par la substance étaient dirigés en un étroit faisceau par un diaphragme de 0,5 mm et frappaient à une distance de 4 cm une plaque photographique où ils produisaient comme image un point. Si on soumettait le faisceau à l'action d'un champ magnétique et électrique croisé, au lieu d'un point, on obtenait une courbe. L'étude de cette courbe permettait de calculer la masse et la vitesse des particules émises. Il est difficile de se faire une idée de la petitesse de ces particules. Selon la comparaison de Kauffmann, la grandeur d'un électron est à celle d'un baccille comme cette dernière est à la grandeur du globe terrestre. On comprend bien alors que si ces corpuscules se meuvent avec la vitesse de la lumière, ils peuvent présenter ces phénomènes particuliers, les rayons de Becquerel, sans qu'on puisse constater la diminution de poids de la substance.

On revient ainsi, pour les rayons cathodiques et les rayons de Becquerel, à la vieille hypothèse balistique de Crookes, en considérant seulement les électrons au lieu des molécules. La question de savoir s'il y a une sorte de mouvement de l'éther ne reste encore ouverte que pour les rayons Röntgen et les rayons Becquerel non déviables magnétiquement, quoique il existe aussi en fait des analogies entre les rayons déviables et les rayons lumineux de courte longueur d'onde.

Les conditions physiques et chimiques influent sur l'émission des rayons de Becquerel. En maintenant à l'incandescence un sel de radium M. et Mme Curie ont pu réduire un peu les radiations. L'auteur croit qu'il s'agit ici de la même action que dans le cas de solution, car l'incandescence rapproche le corps de son état fluide. Avant tout, le sel perd entièrement à cet état la propriété de permettre l'activité induite. Le contact avec l'eau lui rend cette propriété.

D'après Rutherford, l'oxyde de thorium présente le même phénomène. Dans ce dernier cas cependant, l'état chimique paraît avoir une influence, tandis qu'on n'a pas encore pu constater la plus petite différence d'activité entre les différentes combinaisons du radium. Mais comme il n'est pas certain que le thorium possède par lui-même l'activité, cette différence n'a pas une grande importance.

L'action des rayons de Becquerel des substances radioactives est très considérable : la plaque photographique soumise à leur influence noircit à l'instant ; la phosphorescence se fait très nettement.

Sous l'influence des rayons de Becquerel, on observe des phénomènes de coloration du verre, du spath fluor, des sels haloïdes des alcalins et aussi d'autres sels alcalins. Mais ici la coloration intéresse toute la substance, tandis qu'elle se limite à la surface avec les rayons cathodiques. Goldstein, qui a découvert ces colorations, a trouvé qu'elles dépendent des traces d'impuretés. Le sulfate de potassium se colore en vert lorsqu'il renferme des traces de carbonate de potassium, et en violet avec des traces de chlorure de potassium, tandis qu'il ne se colore pas du tout lorsqu'il est pur. D'après Elster, Geitel et l'auteur, ce seraient les ions-métaux libres, en solution solide, qui agiraient dans ces phénomènes de coloration. Le platinocyanure de baryum devient brun et moins phosphorescent sous l'influence des rayons de Becquerel comme sous celle des rayons cathodiques. La lumière le ramène à son état initial.

Le phosphore ordinaire est transformé en phosphore rouge par ces rayons. Le papier, le celluloïd, etc., deviennent bruns et cassants. Les actions physiologiques sur la peau et les feuilles des plantes peuvent être comparées à ces dernières. L'auteur a encore sur le bras la marque d'une brûlure occasionnée il y a dix-huit mois par l'application, pendant deux heures, d'une capsule de 0,3 gr de bromure de radium. Sur les bactéries, ces rayons n'agissent pas ; par contre ils empêchent la germination des graines. De temps en temps, on remarque une forte odeur d'ozone sur les préparations de radium, les bromure et chlo-



rure présentent une faible odeur de brome et de chlore.

Les rayons de Becquerel des substances radioactives se propagent en ligne droite, mais ils se diffusent et se réfléchissent au moins en partie. Les phénomènes d'absorption montrent que ces rayons ne sont pas simples. C'est ainsi qu'après s'être filtrés sur le plomb, ils ne tracent plus aucune image de la main sur l'écran. Le polonium envoie principalement des rayons qui sont facilement absorbés.

Le fait le plus important, découvert par l'auteur, est la déviation des rayons de Becquerel par le magnétisme dans le même sens que les rayons cathodiques. Curie a démontré le transport d'électricité négative et par suite la charge positive du radium. Une partie des rayons n'est pas déviable et se comporte comme les rayons de Röntgen. L'influence du champ électrique a été découverte par Rutherford et Dorn.

L'air et les diélectriques fluides prennent une conductibilité élevée sous l'influence de ces rayons.

Sur la grandeur de l'énergie rayonnée, nous ne savons encore rien. L'énergie potentielle est-elle produite par la division de l'atome ? Il semblerait que la substance dût disparaître et avec elle la radiation ; or le radium de la pechblende a émis d'une façon ininterrompue cette énergie depuis sa formation au sein de la terre et s'y trouve encore. On pourrait supposer que l'énergie est empruntée à la chaleur ambiante, la substance se trouvant à une température plus basse. Cependant ni l'échauffement ni le refroidissement à la température de l'air liquide n'exercent d'influence sur le rayonnement du radium.

Peut-être la solution de ce problème sera-t-elle donnée par les récents travaux de Elster et Geitel sur la production de la radioactivité sans le secours d'une substance radioactive. On sait qu'on observe des variations de conductibilité de l'air atmosphérique, variations dont on suppose depuis longtemps que la teneur variable de l'atmosphère en ions gazeux doit être la cause. Si on prend un conducteur isolé tendu à l'air libre et relié pendant plusieurs heures au pôle négatif d'une bobine d'induction, on trouve que pendant très longtemps ensuite il émet des rayons de Becquerel de faible intensité. L'activité réside seulement à la surface, et en frottant avec un chiffon de peau on peut obtenir, à travers l'aluminium, la photographie des raies de frottement de ce chiffon.

L'air atmosphérique a ainsi la propriété de provoquer l'activité induite, par suite de sa teneur en ions gazeux ; aussi peut-on supposer que c'est à lui qu'est due l'existence des substances radioactives. Malheureusement nous ne connaissons pas encore la cause de l'existence de ces ions.

Discussion.— Goldschmidt demande de quelle façon on sépare le radium des minerais. Giesel répond que la séparation se fait comme pour le baryum, ces deux corps étant complètement identiques. Pour préparer ensuite le radium pur, on opère par cristallisations fractionnées, les sels de radium (chlorure ou bromure) étant plus difficilement solubles que ceux de baryum.

L. J.

Sur l'élément normal, par le professeur Dr **W. Jaeger**. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. VIII, p. 485.

L'auteur rappelle d'abord les qualités que doit posséder un élément normal, puis il donne quelques détails sur les éléments Clark et Weston. Le premier est constitué, comme on sait, de la façon suivante :

—Zn	$ZnSO^4, 7H^2O$ solide	Solution saturée de $ZnSO^4$ et Hg^2SO^4	Hg^2SO^4 solide	Hg+

La plus vieille forme employée est celle du

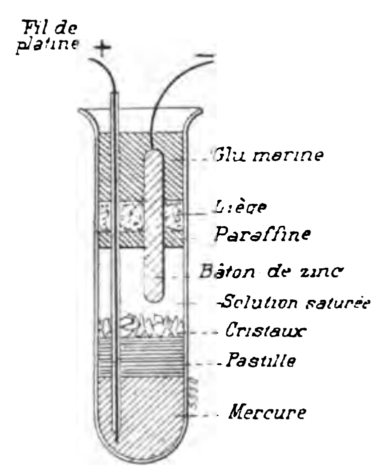


Fig. 1.

« Board of Trade » anglais que représente la figure 1. La figure 2 montre la disposition Feussner employée en Allemagne. Ici le bâton de zinc est entièrement recouvert de cristaux



de sulfate de zinc, de sorte qu'il se trouve constamment dans une solution saturée de ce sel. Cependant, lors de variations brusques de la température, celle-ci peut n'être pas égale aux deux pôles. Cet inconvénient est évité dans la forme de Rayleigh dessinée en figure 3. Pour

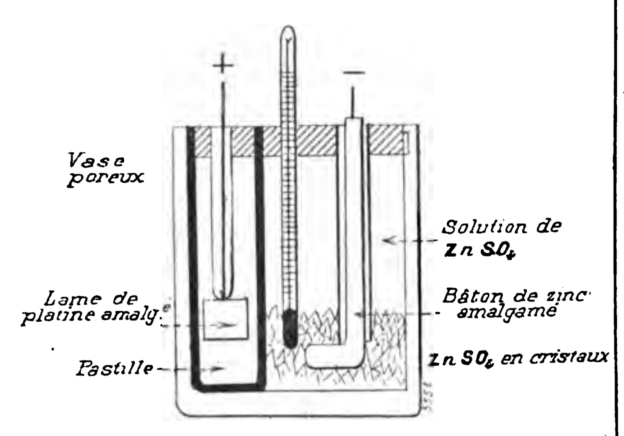


Fig. 2.

empêcher la fuite des vases par suite de l'amalgamation du platine, on emploie la modification indiquée en figure 4.

La force électromotrice de l'élément Clark s'exprime par la formule

$$E_t = 1{,}4328 - 0{,}00119\,(t - 15^{\circ}) - 0{,}000007\,(t - 15)^2 \text{ volt.}$$

t étant la température en degrés C.

Un point intéressant à examiner est celui de l'influence de la température quand celle-ci dépasse 40°C. Il se produit alors une transfor-

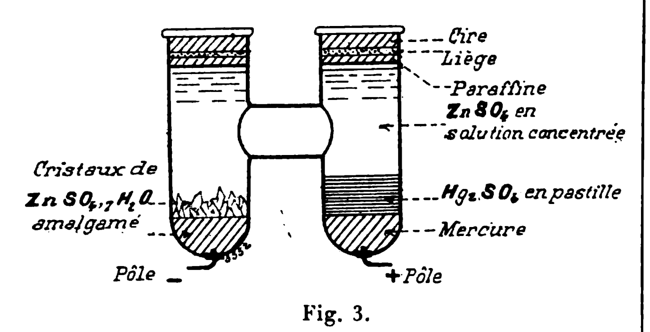


Fig. 3.

mation de l'hydrate $ZnSO^4$, $7H^2O$ en hydrate $ZnSO^4$, $6H^2O$. Lorsqu'un élément normal Clark a été maintenu longtemps au-dessus de 40°C, on observe, comme l'a montré Rayleigh, que le même élément ne possède plus la valeur normale après refroidissement au-dessous de 39°C. L'auteur a tracé la courbe de variation de la force électromotrice en fonction de la température pour l'élément normal et pour l'élément anormal; la figure 5 montre ces deux courbes. Cohen a mesuré la solubilité de ces deux sels et il a trouvé, comme le représente la figure 6, que le sel anormal possède une plus grande solubilité que l'autre au-dessous de 39° C, de sorte que sa force électromotrice doit être plus petite que celle de l'élément normal. La différence atteint environ 1 p. 100 à 0°C. Si on ouvre l'élément anormal et qu'on jette un cristal de l'hydrate normal, l'excès de sel dissous cristallise jusqu'à ce que la concentration normale, et avec elle la force électromotrice soient atteintes à nouveau.

Le grand coefficient de température de l'élé-

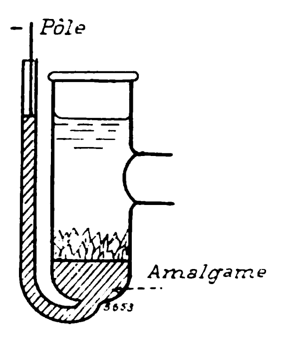


Fig. 4.

ment Clark est souvent un inconvénient, car il y a lieu de faire dans chaque cas le calcul de la force électromotrice d'après la formule ci-dessus; de plus, il peut y avoir une cause d'erreur lorsque l'élément est soumis à de brusques variations de température, car il faut un certain temps pour que la concentration du sulfate de zinc prenne une valeur correspondant à la température.

C'est pour éviter cet inconvénient qu'ont été proposés les éléments Weston et Carhart qui emploient des solutions plus étendues de sulfate de zinc (par exemple saturées à 0°C.).

Le coefficient de température de ceux-ci est seulement moitié de celui des éléments avec sulfate de zinc solide, mais ils ne sont pas assez sûrement définis et ils n'ont pris aucune importance pratique.

Parmi les éléments à plus petit coefficient de température, il convient encore de mentionner l'élément au calomel, de Helmholtz. Il est

composé de Zn, $ZnCl^2$, Hg^2Cl^2, Hg; mais ne peut être utilisé comme élément normal, car les différents éléments ne s'accordent pas. Le calomel ne paraît pas être un dépolarisant suffisant, peut-être à cause de sa solubilité extrêmement faible.

Par contre, l'élément Weston, au cadmium, est parfaitement approprié et possède un coefficient de température négligeable.

Il ne diffère de l'élément Clark que par la substitution du cadmium au zinc dans l'amalgame et le sulfate. Ses avantages nombreux le

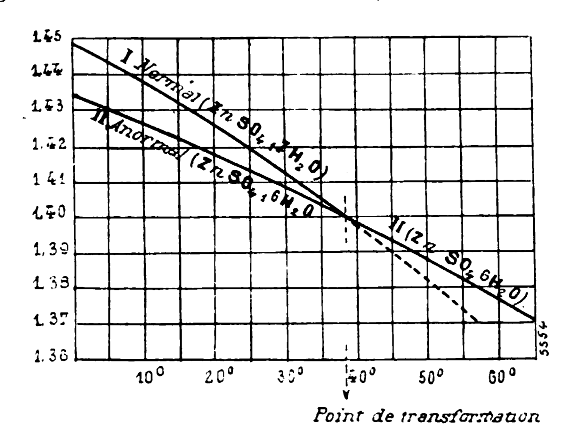


Fig. 5.

rendent préférable au Clark et il est même étonnant qu'il ne soit pas encore employé d'une façon générale.

L'élément Weston est presque exclusivement fabriqué sous la forme en H. La Weston Company emploie une solution étendue, saturée à 4° C., sans présence de sel solide. Dans ce cas la force électromotrice atteint 1,0191 volt et le coefficient de température est pratiquement négligeable. Lorsqu'on emploie, comme au « Reichanstalt » une solution saturée, avec un excès de cristaux, la formule suivante est employée pour exprimer la force électromotrice E_t à la température t.

$$E_t = 1{,}0186 - 0{,}000038\,(t-20) - 0{,}00000065\,(t-20)^2 \text{ volt.}$$

L'amalgame de cadmium présente une particularité. Tandis qu'avec l'amalgame de zinc on obtient, même pour de très faibles teneurs en zinc, la force électromotrice du zinc pur, avec le cadmium, cette force électromotrice de l'amalgame croît jusqu'à la teneur 5 p. 100 en Cd, puis reste absolument constante jusque 14 à 15 p. 100 de Cd et enfin s'approche, pour les fortes teneurs, de la force électromotrice 0,05 volt du cadmium. C'est ce qu'indique la figure 7. D'après les recherches de Kerp et de Böttger, la partie horizontale de la courbe

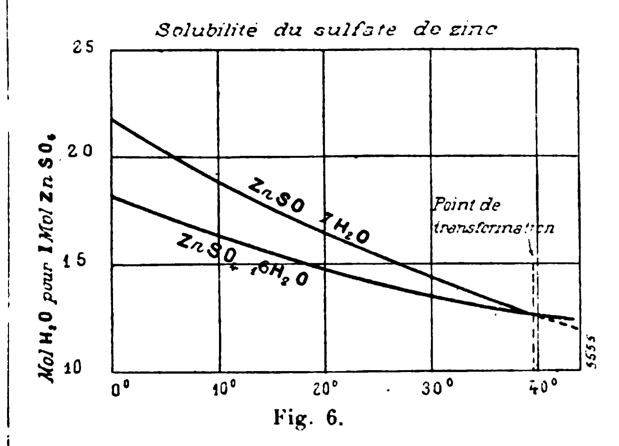


Fig. 6.

correspond à une combinaison définie de Cd et de Hg. On peut aussi supposer que la partie horizontale de la courbe correspond à une solution saturée de cette combinaison dans l'excès de mercure. Pour obtenir un élément à force électromotrice constante, il convient de se tenir

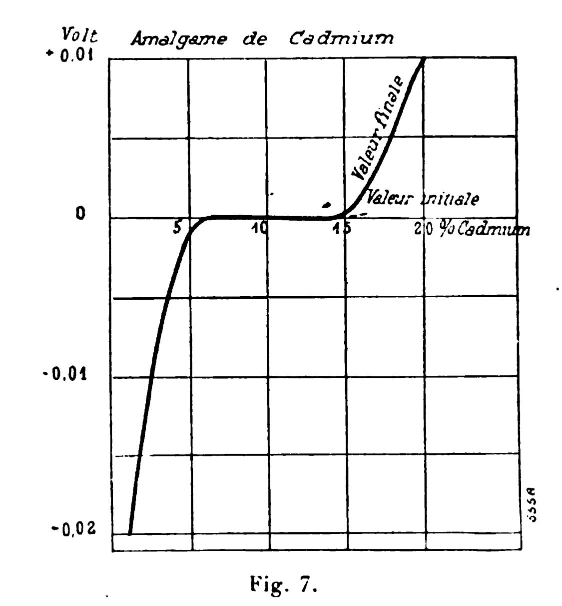


Fig. 7.

dans les limites ci-dessus et de ne pas dépasser 14 p. 100 pour la teneur en Cd de l'amalgame, car, ainsi que l'a constaté Cohen, l'amalgame à 14,3 p. 100 de Cd peut éprouver une transformation à 0°C. de sorte que les éléments cons-



tués par cet amalgame montrent à 0°C. une valeur irrégulière.

En deuxième lieu, influe aussi le sulfate de cadmium. Le sel normal a comme composition $CdSO^4$ 8/3 H^2O et retient cette eau jusqu'à la température 72° C. puis se transforme alors en hydrate $CdSO^4$, H^2O ainsi que montre la courbe de solubilité (fig. 8) d'après Mylius et Funk. La solubilité reste à très peu près constante aux températures ordinaires, puis monte jusqu'à 72° C. pour tomber rapidement ensuite. D'après les mesures de Kohnstamm et Cohen, la courbe de solubilité doit posséder une brisure à 15° C; cependant la courbe de température de l'élément au cadmium ne présente aucun phénomène analogue. D'après l'auteur, il y aurait là une erreur d'observation due aux difficultés de détermination des courbes de solubilité, car s'il

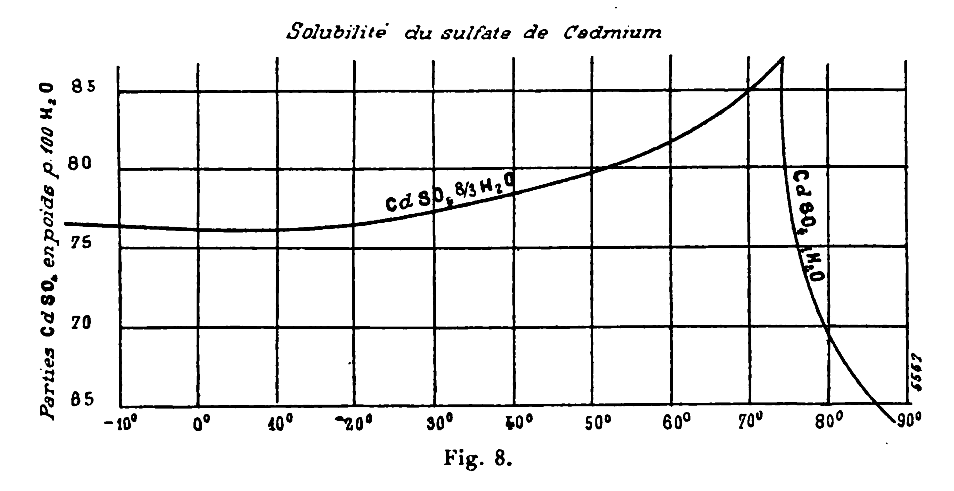


Fig. 8.

y avait transformation du sel à 15° C., on devrait trouver pour la force électromotrice à cette température deux courbes correspondantes comme cela a lieu pour l'élément Clark. Or, ce n'est pas le cas ici.

En ce qui concerne le sulfate mercureux, il est possible que des variations proviennent de sa fabrication ; peut-être la différence de grosseur des grains influe-t-elle sur la solubilité. Des recherches dans ce sens sont encore en cours.

La constance de l'élément est indiquée par le tableau suivant qui donne les valeurs du rapport des deux éléments Clark et au cadmium d'après des recherches faites à l'institut impérial.

DATES	CLARK 0° / Cadmium 20°	CLARK 15° / Cadmium 20°	OBSERVATEURS
Mars 1896 . .	1,422 70	1,406 60	Jaeger et Wachsmuth.
Janvier 1897 .	1,422 77	1,406 76	Jeager et Kahle
Novembre 1897	1,422 80	1,406 60	» »
Octobre 1899 .	1,422 83	1,406 79	Lindeck
Décembre 1900	1,422 82	1,406 67	Jaeger et Lindeck

Ces chiffres montrent qu'on peut considérer l'élément comme constant au dix-millième de volt. L. J.

Sur l'emploi de la méthode de Fuchs dans la technique des accumulateurs, par **C. Liebenow.** — *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. VIII, p. 616.

C'est Fuchs qui, le premier, a proposé, en 1875, l'emploi d'une électrode supplémentaire non traversée par le courant, dans la mesure de la polarisation des électrodes. Pour cette raison désigne-t-on actuellement cette méthode sous le nom de méthode de Fuchs.

On a d'abord choisi comme électrode supplémentaire une baguette de zinc plongeant directement dans l'acide au-dessus des plaques ; mais comme le zinc est assez fortement attaqué dans l'acide, le Dr Lucas l'a remplacé par le cadmium. En vue de rendre cette électrode supplémentaire très transportable, l'auteur l'a constituée comme le montre la figure 1, d'un cadre en ébonite dans lequel on introduit la plaquette de cadmium. Au milieu de celle-ci, on découpe une bande qui est recourbée et sur laquelle est vissée la borne de contact. Pour la mesure, on place cette plaquette sur le bord supérieur de

plaques et dans l'acide en évitant que celui-ci vienne en contact avec la borne en laiton. On peut croire *a priori* qu'une telle électrode en présence d'une grande quantité d'acide qui ne renferme d'abord aucun ion-cadmium, n'a pas un potentiel constant. Cependant l'expérience montre que la constance est suffisante pour les besoins de la pratique, si on a soin de ne pas

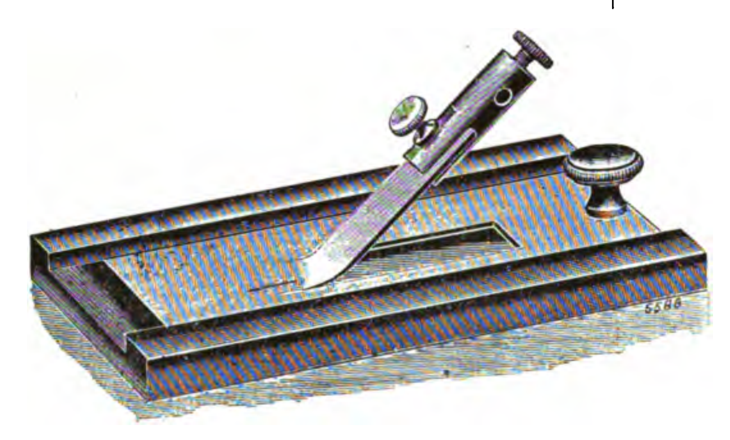


Fig. 1.

laisser la plaque se sécher à l'air après chaque mesure, mais de la conserver dans un récipient renfermant de l'acide sulfurique très étendu. Dans ces conditions il se forme rapidement dans le voisinage de l'électrode, plongée dans l'acide pour la mesure, une couche qui renferme peu d'ions-cadmium, mais de concentration très uniforme. Au contraire, lorsque la plaque a séché à l'air, elle s'est recouverte de sulfate de cadmium et, après introduction dans l'acide de l'élément à mesurer, elle s'entoure d'abord d'une couche concentrée de sulfate de cadmium qui disparaît peu à peu par diffusion, ce qui cause des variations de potentiel non négligeables.

Pour les mesures plus précises, en laboratoire, l'auteur a employé l'amalgame de cadmium plongeant dans une solution concentrée de sulfate de cadmium contenu dans un vase poreux ayant l'aspect de la figure 2. Cet élément est placé sur la partie supérieure des plaques et les mesures peuvent se faire avec un voltmètre Weston : on prend successivement et rapidement les différences de potentiel entre le cadmium et la plaque positive, entre le cadmium et la plaque négative et enfin entre les deux plaques positive et négative. Cette dernière lecture doit être évidemment égale à la différence des deux autres. Cependant comme la résistance du vase poreux n'est pas toujours négligeable, il peut y avoir des différences atteignant 1 à 2 centièmes de volt. Comme la tension entre la négative et la plaque de cadmium est faible on peut se contenter de faire la correction sur la lecture entre la positive et la plaque de cadmium. L'amalgame de cadmium est très fragile ;

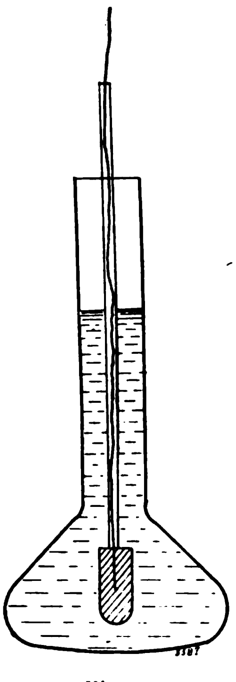


Fig. 2.

lorsqu'il est cassé, il suffit de le placer dans un tube à essai et de le refondre ; après refroidissement, on casse le tube.

L'auteur a également employé comme électrode supplémentaire une petite plaquette en plomb spongieux [1] pour les mesures relatives à la négative, et en peroxyde pour celles relatives à la positive. Les différences de potentiel à mesurer restent alors faibles et exigent l'emploi d'instruments de mesure assez sensibles. Avant la mesure, ces plaquettes doivent rester 24 heures au repos dans l'acide de l'accumulateur à mesurer.

Avec ce procédé, on obtient les courbes de la

(1) Dans un article publié ici (*L'Éclairage Électrique*, t. XXIV, p. 59, 14 juillet 1900), nous avons déjà exposé les avantages de ces électrodes supplémentaires et donné les courbes relatives à leur emploi. L. J.



figure 3 dans laquelle le trait ponctué se rapporte à la tension aux bornes et les valeurs supérieure et inférieure, respectivement à la tension de la positive et à celle de la négative. Ici, la première partie instable de la décharge n'a pas été tracée ; on peut reconnaître par l'allure des courbes que la capacité de la négative est, dans cet exemple, plus grande que celle de la positive.

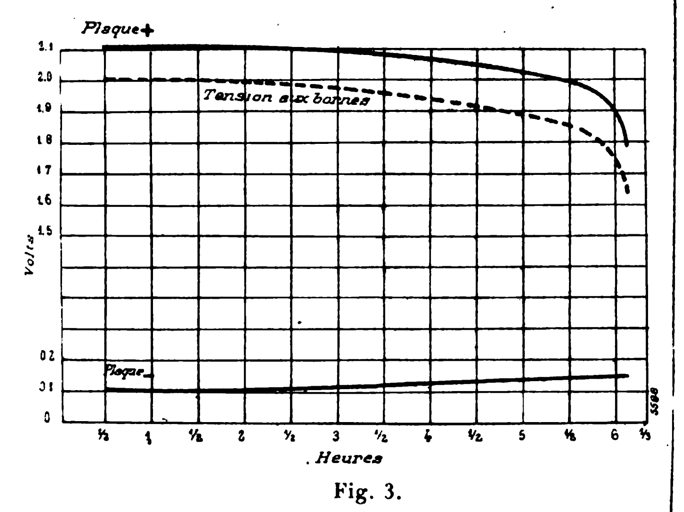


Fig. 3.

Dans la figure 4 ont été tracées les courbes de charge avec emploi de l'électrode supplémentaire au cadmium, la courbe ponctuée se rapportant à la tension aux bornes.

En appliquant la méthode de Fuchs, l'auteur a constaté dans certains cas la particularité assez remarquable suivante : un élément dont les négatives limitaient la capacité était mis en décharge à l'aide d'une source extérieure qui permettait de pousser très loin cette décharge. Au moment du crochet de la négative, on constatait également un crochet de la courbe positive qui pouvait faire croire que la capacité des positives n'était pas supérieure à celle des négatives. En réalité, il n'en était rien, et, la décharge étant poursuivie, la courbe positive remontait assez rapidement pour reprendre son cours normal jusqu'au véritable crochet, indice de l'épuisement des positives. La figure 5 indique clairement ce point singulier ; dans cette figure la courbe en trait plein se rapporte à la positive et la courbe ponctuée, à la négative. Au point singulier de la positive l'allure réelle est évidemment la courbe qui relie les deux ponts.

Ce phénomène se produit notamment lorsqu'une plaque possède un contact défectueux avec la prise de courant. L'auteur a réalisé ces conditions en prenant un élément dont les négatives limitaient la capacité et en dessoudant une

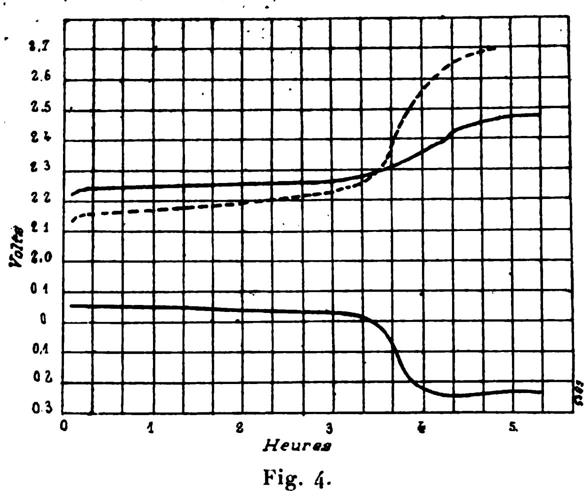


Fig. 4.

des négatives que l'on reliait à la prise de courant simplement par un crampon en fer.

Au moment où les négatives épuisées s'inversaient et où le dégagement d'oxygène se produisait momentanément à leur surface, on constatait que le crampon en fer devenait incandescent.

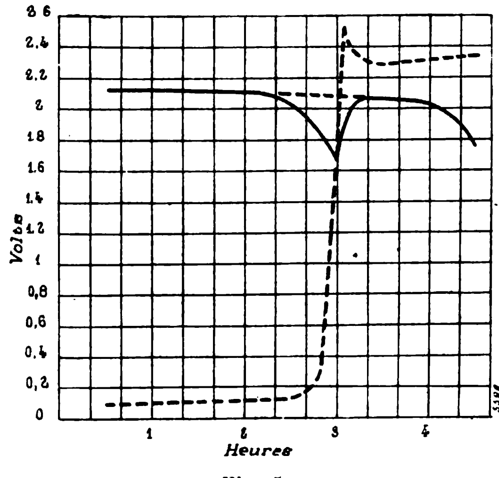


Fig. 5.

Ce fait s'explique aisément : la négative dont le contact avec la prise de courant offrait une certaine résistance a débité moins que les autres négatives et quand ces dernières s'inversaient après épuisement, la première prenait pour quelques secondes la plus grande partie du cou-



rant total de l'élément. Il en résulte que, pendant cette période, de forts courants vagabonds prenaient naissance entre les différentes positives, dont l'épuisement n'était pas encore atteint, et la négative considérée. Ce sont ces courants vagabonds qui, causant une chute de potentiel, provoquent l'anomalie signalée dans les mesures avec l'électrode supplémentaire

Un phénomène du même genre a été obtenu dans les conditions suivantes : on essayait une plaque négative entre deux plaques positives de même grandeur, mais ayant dans un cas une capacité plus petite et dans l'autre une capacité plus grande que la négative. En déchargeant à la même intensité dans les deux cas, on obtenait pour la négative les courbes différentes représentées par la figure 6, la courbe IN se rapportant à la négative déchargeant entre deux positives à faible capacité, et IIN entre deux positives à grande capacité.

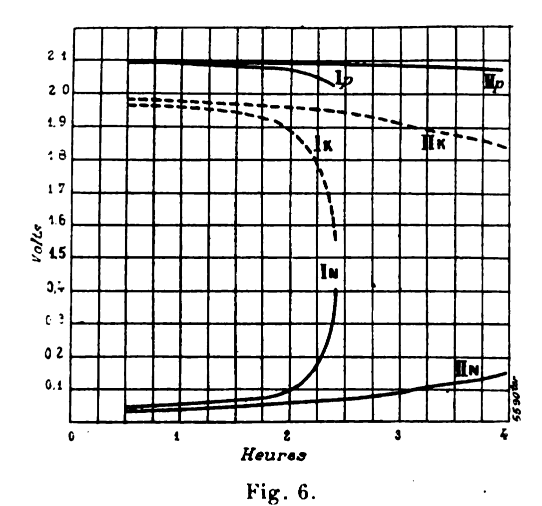


Fig. 6.

Les courbes p et K sont relatives aux variations de tension aux positives et aux bornes dans chacun de ces deux cas.

On constatait en outre que si dans le cas I la décharge était poursuivie jusqu'à inversion des positives, la courbe de la négative redescendait et reprenait son allure normale II.

La figure 7 permet de comprendre cette anomalie : au commencement de la décharge, les lignes de courant vont directement de la négative aux faces des positives qui sont en regard, tandis qu'une très petite partie de celles-ci suit le chemin indiqué par les flèches. Mais lorsque les faces positives intérieures sont épuisées, toutes les lignes de courant prennent la direction des flèches pour rejoindre les faces extérieures des positives et l'électrode supplémentaire située au-dessus des plaques est soumise à l'influence de ce courant. La chute de tension augmente par suite de l'augmentation de longueur des lignes de courant ; dans l'espace extérieur, la perte en volt reste relativement faible à cause de la grande section d'acide ; il n'en est pas ainsi entre les plaques et la tension mesurée entre l'électrode supplémentaire et la négative

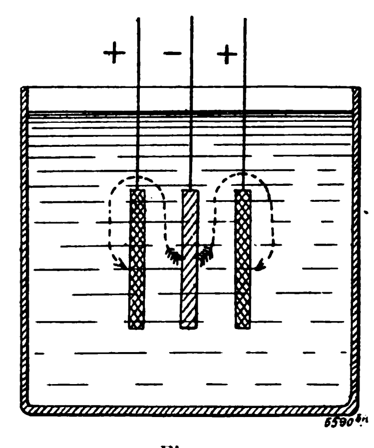


Fig. 7.

augmente de cette perte en volt, ce qui peut faire croire à l'épuisement de la négative.

Une influence du même genre peut se produire lorsqu'on emploie comme négatives extrêmes d'un élément des plaques semblables aux négatives intermédiaires. Dans ce cas, l'épuisement des premières survenant plus tard que celui des négatives intermédiaires, des courants vagabonds peuvent également se produire et fausser les résultats des mesures avec électrode supplémentaire. C'est ainsi qu'on peut obtenir pour la variation de tension anodique l'allure de la courbe de la figure 4.

L'auteur conclut de ces différents exemples que les mesures avec électrode supplémentaire ne donnent de résultat certain que si la capacité des deux électrodes est trouvée différente. Si le crochet survient en même temps dans les deux courbes, le résultat est incertain et la décharge doit être continuée jusqu'à inversion de polarité de l'électrode de plus faible capacité (1).

L. J.

(1) Faisons remarquer que les incertitudes signalées



ici dans les mesures avec électrodes supplémentaires n'offrent quelque importance, pour des éléments normaux, que lorsqu'il s'agit de décharges rapides. D'autre part, même dans ces circonstances, les causes d'erreurs peuvent être évitées par un choix convenable de la position que doit occuper l'électrode supplémentaire. C'est ainsi qu'en plaçant cette électrode dans un tube effilé dont la pointe débouche entre les plaques et à égale distance de celles-ci, la mesure des tensions tient compte non seulement de la force électromotrice et de la résistance intérieure de chacune des électrodes, mais encore d'une perte en volt, due à la résistance de l'acide intermédiaire, égale à la cathode et à l'anode, ce qui n'est pas toujours le cas lorsque l'électrode supplémentaire est placée sur le bord supérieur des plaques ou en un point quelconque de l'acide extérieur. Dans ces derniers cas, il peut même y avoir, par suite de la présence de l'électrode supplémentaire, changement dans la répartition des lignes de courant entre les plaques de l'élément.

L. Jumau.

Manière d'agir des diaphragmes pendant l'électrolyse des solutions hydratées, par le professeur Dr **Hittorf**, de Munster.

L'auteur signale une erreur qu'il a commise dans les déterminations des nombres de transport par suite des propriétés alors inconnues des membranes employées comme diaphragmes.

On sait que, dans la détermination de ces nombres, il faut veiller en première ligne à ce que la surface de séparation de l'électrolyte ne subisse après l'électrolyse aucune variation dans sa composition, qualitativement aussi bien que quantitativement. Si, comme dans la plupart des cas, la formation d'un nouvel électrolyte ne peut pas être évitée aux électrodes, on doit maintenir celles-ci éloignées des surfaces de séparation. Pour atteindre ce but, l'auteur choisissait pour beaucoup de sels une anode en cadmium amalgamé placée à la partie inférieure du vase. La solution plus lourde de sel de cadmium qui se produisait au fond ne se diffusait que lentement et était encore éloignée de la surface de séparation lorsqu'une quantité suffisante d'électrolyte était analysée.

Mais on trouvait que par suite du dégagement de chaleur dû au courant électrique, il se produisait des courants liquides qui conduisaient de petites parties de cadmium à la surface de séparation.

Afin d'éviter cette erreur, le vase était pris conique, se rétrécissant un peu dans le bas; vers le milieu de sa hauteur, était disposé un anneau en verre muni d'un diaphragme. Un diaphragme semblable formait le fond du deuxième vase. Ce diaphragme comprenait deux petites peaux minces. L'emploi de plaques minces d'argile avait été malheureusement écarté, parce qu'avec le premier diaphragme, la solution absorbée peut être plus facilement extraite; malheureusement, car l'erreur n'eût pas été commise avec les plaques d'argile.

En effet, toutes les plaques d'argile étudiées par l'auteur montrent, par le passage du courant,

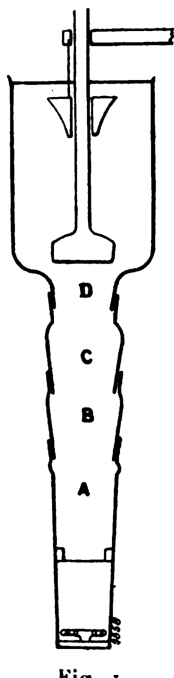


Fig. 1.

l'endosmose électrique comme elle était connue jusqu'ici. La composition de la solution du sel ne varie pas dans les pores et le facteur de transport reste le même que s'il n'y avait pas de diaphragme. C'est ce que l'auteur a vérifié en disposant le vase de façon à le faire servir à volonté avec ou sans diaphragme. Les parties unitaires étaient à cet effet glissées l'une dans l'autre et, après l'électrolyse, chacune d'elles pouvait être enlevée avec son contenu, après avoir été fermée à l'aide d'un bouchon de verre qu'une tige permettait de faire glisser intérieurement, ainsi que le montre la figure 1.

Les peaux animales se comportent comme les plaques d'argile avec un certain nombre de sels parmi lesquels les sels alcalins (K, Na, Az H^4, Li.). La solution poussée par endosmose élec-

trique se meut seulement dans le sens de l'électricité positive et conserve invariable sa composition quantitative. En prenant ces sels, on obtient donc le même facteur de transport avec ou sans diaphragme.

Mais avec la plupart des électrolytes en solution hydratée, la membrane animale se comporte différemment.

Une solution plus étendue se meut dans le sens de l'électricité positive et monte ainsi vers le côté supérieur du diaphragme comme une solution plus légère. Une solution plus dense s'abaisse simultanément vers la partie inférieure. Ce phénomène se continue pendant l'électrolyse.

Par suite de cette manière d'agir, il reste une plus grande quantité de sel dans le vase inférieur qui renferme l'anode et dont le contenu sert à l'analyse. Cette action provient de l'endosmose électrique dans la membrane qui constitue le fond du deuxième vase.

Pour de tels sels, l'appareil avec membranes animales donne une valeur du facteur de transport trop grande à l'anion et trop petite au cathion. Les différences sont variables avec la nature du sel et la concentration de sa solution. C'est avec les sels halogènes de cadmium et de zinc qu'elles sont les plus grandes.

L'auteur annonce en conséquence la revision des facteurs de transport.

Discussion. — Le Blanc explique la variation de ces facteurs en considérant ces diaphragmes comme diaphragmes de solution ; le rapport des vitesses de migration des ions est dans ceux-ci différent de celui obtenu dans l'eau pure.

Hittorf admet que dans les pores de la membrane, la solution initiale se sépare en une solution plus concentrée et une plus étendue. La première se meut dans le sens de l'électricité positive ; l'autre va dans la direction de l'anode, peut-être à cause de frottement moindre, et en plus grande quantité.

Abegg a constaté que l'épaisseur de la membrane n'exerce aucune influence sur les valeurs obtenues ; c'est ainsi qu'avec une solution de sulfate de magnésium, il obtint les mêmes nombres en faisant usage d'une épaisse couche de gélatine que Hittorf avec une membrane animale mince.

Procédé pour la préparation électrochimique du chlorure double ammoniaco-plombique, par le Dr **K. Elbs**. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. VIII, page 512.

Les recherches de Fœrster ont montré qu'on peut préparer électrochimiquement des petites quantités de ce chlorure double. Cependant, comme la solubilité du chlorure de plomb dans l'acide chlorhydrique est faible, on ne peut ainsi obtenir de grandes quantités. Si on procède de la même manière que K. Elbs et Fischer pour la préparation du bisulfate de plomb en électrolysant l'acide chlorhydrique avec une anode en plomb, dans des conditions appropriées de température et de densité de courant, on n'obtient pas de tétrachlorure, le plomb ne passant en solution qu'à l'état d'ions bivalents. Il en est de même dans les chlorures alcalins. Par contre, la formation du tétrachlorure de plomb réussit très bien si on emploie simultanément une anode de charbon et une anode de de plomb. La première fournit les ions Cl et la deuxième les ions Pb (chlorure de plomb). La solution anodique reste toujours saturée de chlorure de plomb et il se forme le tétrachlorure. L'expérience a montré qu'on amène 3/5 du courant total à l'anode de charbon avec une densité de courant de 4 ampères : dm^2 et 2/5 du courant à l'anode de plomb avec une densité de courant de 3 ampères : dm^2. Le liquide anodique est refroidi par une circulation d'eau.

On ne connaît pas encore de méthode simple pour séparer ce tétrachlorure ; mais il est facile de précipiter des sels doubles analogues au chlorure double de platine et de potassium. En additionnant de chlorures la solution anodique, un sel double se précipite en cristaux jaunes. C'est ainsi qu'on obtient avec le chlorure d'ammonium le sel double $(Az\,H^4)^2\,Pb\,Cl^6$ semblable au sulfate double $(Az\,H^4)^2\,Pb\,(SO^4)^3$; ce sel est plus stable qu'on ne le croit et il ne commence à se décomposer qu'à 220° C.

Discussion. — Répondant à une question de Goldschmidt, l'auteur signale qu'il est préférable de placer l'anode en charbon dessous et celle en plomb, dessus, le chlorure de plomb tendant à descendre tandis que le chlore tend à monter. Il mentionne que, pendant l'électrolyse, l'anode de plomb reste polie comme dans la formation du persulfate ; elle ressemble ainsi à une plaque de zinc amalgamée. L. J.



Sur la formation complexe des sels de mercure, par le **Dr R. Abeeg**. *Zeitschrift für Elektrochemie;* t. VIII, p. 688, 4 septembre 1902.

Beaucoup d'observations prouvent que les sels de mercure forment avec les halogènes des anions complexes. L'auteur a cherché à déterminer la constante d'affinité de ces formations complexes à l'aide des déterminations de solubilité. Appelant l la solubilité du sel haloïde mercurique dans l'eau pure, L sa solubilité dans la solution d'haloïde, L—l représente la concentration du produit complexe.

Si c est la concentration de l'haloïde dissous, c—(L-l) représente les ions libres d'halogène et on a

$$\frac{L - l}{l\,[c - (L - l)]} = k.$$

L'auteur donne les quelques valeurs suivantes :

$HgBr^2 + KBr$.

KBr	L — l	$k.\,l$
0,1	0,071	2,45
0,5	0,342	2,16
0,866	0,594	2,17
2,0	1,39	2,28
3,0	2,08	2,26

$Hg^2Br^2 + KBr$.

KBr	L — l	$k.\,l$
1,0	0,00805	0,00805
1,5	0,0176	0.0119
2,0	0,0343	0,0172
3.0	0,0783	0,0268

$HgI^2 + KI$.

KJ	L — l	$k.\,l$
0,1	0,0492	0,97
0,25	0,131	1,10
0,5	0,266	1,14
1,0	0,549	1,22

$Hg^2I^2 + KI$.

KJ	L — l	$k.\,l$
0,04	0,00196	0,0515
0,1	0,0095	0,0105
0,5	0,118	0,309
1,0	0,213	0,271

$Hg(CAzS)^2 + KCAzS$.

KCAzS	L — l	$k.\,l$
0,101	0,0571	1,29
0,248	0,141	1,31
0.542	0,181	0,50

Sur la polarisation cathodique dans l'acide sulfurique étendu, par le **Dr J. Tafel**. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. VIII, p. 604; 21 août 1902.

L'auteur s'est efforcé de trouver un procédé pour mesurer la valeur de la polarisation pour les hautes densités de courant. En collaboration avec Karl Schmitz, il a trouvé un procédé simple, basé sur cette observation qu'un système, consistant en une assez grande anode de platine poli, de l'acide sulfurique étendu et une petite cathode en platine platiné, prend très rapidement, pour une intensité constante, une tension entièrement déterminée. Cette tension reste la même pendant de longues heures.

On monte un tel système dans un creuset de platine renfermant de l'acide sulfurique étendu dans lequel plonge une cathode de platine platiné en forme de demi-sphère à la partie inférieure. Cette forme de cathode se laisse facilement reproduire avec d'autres matières. La température étant maintenue constante, on mesure la tension aux bornes, pour une intensité déterminée. En remplaçant ensuite la cathode de platine par une cathode semblable en plomb, on trouve pour la même intensité une valeur plus élevée de la tension aux bornes, la différence représentant alors l'augmentation de tension cathodique.

Si la méthode est exacte, on doit, après avoir remis la cathode de platine, retrouver la valeur initiale; c'est ce que l'on constate. Dans une série de recherches, l'auteur a trouvé les valeurs suivantes avec la cathode en platine-platiné.

INTENSITÉ EN AMPÈRES	0,1	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	
Tension aux bornes, au début. . . .	2,078	2,200	2,404	2,580	2,740	2,900	3,060	$t = 14,2°$ C.
Détermination de la polarisation de l'argent								
— — après 45 minutes	2,078		2,402		2,740		3,060	$t = 14,3°$ C.
Détermination de la polarisation de l'argent								
— — après 2,5 heures	2,070		2,400		2,730		3,050	$t = 14,2°$ C.
Détermination de la polarisation de l'argent								
— — après 4,5 heures	2,066	2,212	2,400		2,724		3,045	$t = 14,2°$ C.
Détermination de la polarisation de l'argent								
— — après 8 heures .	2,068	2,210	2,400	2,570	2,735	2,900	3,060	

Entre chacun des essais avec la cathode en platine, essais dont le tableau exprime les résultats, on effectuait une détermination avec cathode en argent. Dans ce cas, on constate qu'un peu d'argent peut passer dans l'électrolyte, de sorte qu'on trouve ensuite une valeur un peu trop élevée pour la cathode de platine. On évite cet inconvénient en électrolysant pendant quelques minutes de façon à déposer l'argent sur le platine, puis en plongeant cette cathode de platine dans l'acide nitrique qui dissout l'argent, et enfin en lavant à l'acide sulfurique étendu. On retrouve alors la valeur initiale comme l'indiquent les troisième et quatrième séries de valeurs du tableau, qui ont été obtenues dans ces conditions. Ce tableau montre que le procédé est bien approprié à la mesure de la polarisation cathodique, les erreurs ne dépassant pas au maximum quelques millièmes de volt. Les lectures peuvent se faire directement au voltmètre.

L'auteur donne aussi un exemple relati à la réduction de la caféine en solution sulfurique qui indique que la nouvelle méthode peut être combinée avec le procédé de l'auteur pour l'observation de l'allure de la réduction électrolytique. L. J.

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 1er décembre 1902.

***Préparation au four électrique de l'aluminate de manganèse*, Al^2O^4Mn, par Em. Dufau.** *Comptes rendus*, t. CXXXV, p. 963-964.

L'emploi du four électrique a permis d'obtenir facilement cette combinaison, préparée dès 1847 par Ebelmen en chauffant dans un four à porcelaine un mélange d'oxyde de manganèse et d'alumine additionné d'anhydride borique. Dans la préparation au four électrique, on chauffe, pendant 3 minutes, avec un arc de 1 000 ampères sous 60 volts, un mélange intime de 100 parties d'alumine et 230 parties d'oxyde salin de manganèse. On obtient ainsi une masse boursouflée, d'un brun noir, à reflet métallique. La cassure, très irrégulière, est d'un beau vert clair et montre de nombreuses géodes brunes tapissées de cristaux brillants à pointements octaédriques.

Pour purifier ce produit, on le concasse, puis on le traite par l'acide chlorhydrique à chaud ; il se dégage des gaz carburés et du chlore en même temps que l'acide prend une teinte brune. En prolongeant les traitements à l'acide chlorhydrique bouillant, la teinte primitive du composé s'atténue progressivement, faisant place à une teinte définitive *jaune clair*. La poudre cristalline ainsi obtenue retient encore des parcelles de graphite que l'on sépare facilement, grâce à la différence de densité des deux corps, en projetant la poudre dans l'iodure de méthylène.

Le Gérant : C. NAUD

Tome XXXIV | Samedi 10 Janvier 1903. | 10e Année. — N° 2.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

LES RÉCENTES EXPÉRIENCES DE TÉLÉGRAPHIE SANS FIL A GRANDE DISTANCE DE M. MARCONI

L'assertion émise il y a quelques mois par M. Marconi au sujet de la réception de télégrammes à travers l'Atlantique avait rencontré beaucoup d'incrédulité.

Le choix particulièrement fâcheux de la lettre S, constituée uniquement on le sait par trois brèves en langage Morse, était de nature à faire naître des doutes sérieux sur la certitude de la réception.

Mais aujourd'hui le doute n'est plus permis, sinon en ce qui concerne la transmission d'Europe en Amérique (1), du moins en ce qui a trait aux énormes distances franchies.

Il est absolument certain que la puissante station installée à Poldhu à la pointe de Cornouailles par la « Wireless Company » a pu transmettre des messages entiers au cuirassé italien *Carlo-Alberto* à des distances au moins égales à 1 500 km, et cela par-dessus des espaces considérables de terres élevées.

Avant de résumer ces expériences (2), à coup sûr fort remarquables, il paraît intéressant d'indiquer, d'après les renseignements fournis par M. Marconi (3), quel était l'état de la télé-

(1) Il est aujourd'hui hors de doute que la transmission transatlantique est possible. Le 21 décembre, des messages officiels ont été transmis entre le cap Breton et le poste de Poldhu.

(2) Ces expériences ont déjà fait l'objet d'un article de M. Turpain publié dans le précédent numéro et quelques passages de l'article de M. Reyval font double emploi avec ce dernier article : nous n'avons pas cru toutefois devoir les supprimer craignant de diminuer ainsi l'intérêt des considérations critiques de l'article de M. Reyval. N. d. l. R.

(3) « The progress of electric space telegraphy », conférence faite par Marconi à la « Royal Institution », 13 juin 1902.

graphie sans fil au moment où elles ont été entreprises et quels sont les moyens qui ont permis de les réaliser.

Le transmetteur. — La valeur de l'amortissement est considérable pour un oscillateur ouvert du genre de celui qu'employait M. Marconi et dont se sont servis depuis différents expérimentateurs. Cet amortissement, qui est dû surtout à la dissipation d'énergie à l'état radié, a été nettement mis en évidence dans les expériences de M. Tissot (1).

Cette circonstance paraît être de nature à rendre illusoire toute tentative de mise en résonance de deux postes, et en fait, les multiples essais effectués pour obtenir l'accord d'un appareil récepteur avec un transmetteur *direct*, c'est-à-dire avec un transmetteur constitué par une antenne reliée directement à l'éclateur, ont échoué, de l'aveu même de M. Marconi.

En l'absence de résonance, le récepteur répond simplement à un choc. Or l'énergie de ce choc est d'autant plus grande que la puissance transmise par le front de l'onde est plus considérable.

Avec le système de transmission directe, ce sont précisément les circonstances dans lesquelles la proportion d'énergie radiée est la plus forte qui rendent l'amortissement maximum. Mais on conçoit qu'il soit possible d'utiliser autrement l'énergie recueillie par le récepteur en se plaçant dans des conditions telles que les phénomènes de résonance soient mis en jeu.

D'autre part, l'énergie capable d'être utilisée par les appareils récepteurs, qui est évidemment une fraction extrêmement minime de la totalité de l'énergie transmise, croît en même temps que celle qui est dépensée à la transmission.

Les efforts principaux de M. Marconi ont porté sur ces deux points : Réduction de l'amortissement des ondes émises afin de pouvoir utiliser les phénomènes de résonance ; accroissement de l'énergie dépensée à la transmission.

Les dispositifs qui lui ont permis d'obtenir le premier résultat se rapportent à deux systèmes assez différents.

L'un d'eux consiste à accroître dans une large mesure la capacité de l'antenne d'émission de manière à se rapprocher des conditions de l'oscillateur fermé. Le dispositif qui remplace l'antenne est constitué par deux cylindres métalliques concentriques de 7 m de hauteur et de 1,50 m de diamètre, formant une sorte de grand condensateur dont l'armature intérieure se trouve réunie à la terre.

Ce système aurait permis de réaliser l'accord entre les stations de l'île de Wight et de Poole à une distance de 45 km et d'échanger des messages sans être troublé par le fonctionnement de postes voisins.

En dépit de la confiance que ce dispositif inspirait à M. Marconi, ce fut néanmoins une autre solution qu'il adopta lors des expériences de Biot et Calvi.

Les dispositifs qui ont été utilisés dans les expériences de communication entre la Corse et la France sont connus des lecteurs du journal. M. Blondin les a décrits en 1901 et M. Turpain est revenu sur ce sujet dans une série d'articles plus récents (2).

Rappelons simplement que le principe du système réside dans l'emploi d'un dispositif de Tesla ou d'Arsonval.

(1) La télégraphie sans fil, par H. Poincaré. *Annuaire du Bureau des Longitudes* 1902; voir aussi *Écl. Élect.* t. XXXII, p. 341.

(2) J. Blondin. Expériences de Marconi entre Antibes et la Corse. *Écl. Élect.*, t. XXVIII, p. 93, 20 juillet 1901. A. Turpain. Les récentes expériences de télégraphie sans fil. *Écl. Élec.*, t. XXXII, p. 13, 5 juillet 1902.



L'oscillateur est complètement fermé, mais il excite, par induction électro-magnétique, un circuit secondaire relié à l'antenne qui rayonne une fraction de l'énergie du circuit de décharge.

Un pareil système présente un amortissement beaucoup plus faible que celui qui est constitué par l'oscillateur ouvert du système direct. C'est bien en effet ce qu'a trouvé M Tissot en étudiant directement l'amortissement de la décharge ([1]). On conçoit tout d'abord qu'il soit possible néanmoins d'émettre une quantité d'énergie radiée comparable et même supérieure à celle que fournit le dispositif direct à fort amortissement.

On dispose en effet de la capacité introduite dans le circuit de décharge (primaire du Tesla), ce qui permet d'accroître dans une large mesure l'énergie mise en jeu, nécessairement limitée dans le dispositif direct par le potentiel explosif de l'oscillateur.

Mais M. Marconi prétend tirer du système un avantage tout autre. Les oscillations seraient assez peu amorties pour permettre de réaliser l'accord avec un « jigger » de réception convenable, constitué lui aussi par une sorte de dispositif Tesla (ou de résonateur Oudin).

L'utilisation du dispositif dans les expériences de Corse avait bien paru donner un certain effet sélectif, mais l'accord complet des stations était loin d'être réalisé et les signaux émis ont pu être interceptés ([2]).

M. Marconi aurait réalisé depuis de nouveaux progrès et obtenu la communication des stations de Sainte-Catherine (île de Wight) et de Poole sans troubler en aucune façon les stations voisines ni être gênées par elles.

Et même, le poste extra-puissant de Poldhu, dont nous parlons plus bas, serait capable de transmettre des signaux syntonisés, déchiffrables à plus de 1 000 milles sans que la station du cap Lizard, distante de 7 milles seulement de ce poste en soit affectée en rien.

Nous verrons ce qu'il faut penser des assertions de M. Marconi en ce qui concerne la solution complète du problème de la syntonie, mais on doit reconnaître qu'il a réussi à accroître, dans une mesure inconnue jusqu'ici, l'énergie mise en jeu dans la transmission et c'est là surtout, et peut-être bien uniquement, la raison de son succès.

Le poste de Poldhu. — La syntonie paraît en effet ne jouer, dans les récentes installations de M. Marconi, qu'un rôle assez secondaire. Mais la puissance mise en jeu se chiffrerait en kilowatts et ce serait avec la même unité qu'il faudrait compter la dépense consentie dans les circuits primaires.

Comment a-t-il été possible d'obtenir des émissions de telle puissance que l'on a pu à bon droit qualifier le poste de Poldhu de « manufacture de tonnerre » ?

C'est ce qui serait intéressant de savoir, au point de vue spéculatif tout au moins, car au point de vue industriel il paraît y avoir une telle disproportion entre les moyens employés et le but atteint que le succès des expériences de communications inter-océaniques n'est pas encore de nature à inquiéter beaucoup les compagnies de câbles.

Malheureusement M. Marconi, si prolixe d'ordinaire lorsqu'il expose les solutions multiples qu'il aurait obtenues du problème de la syntonie, se montre très réservé en ce qui concerne cette importante question.

Les installations extra-puissantes de la Wireless Company ne sont donc connues que dans leurs grandes lignes.

([1]) La télégraphie sans fil, par H. Poincaré. *Ann. du Bureau des Longitudes* 1902; voir aussi *Écl. Élect.*, t. XXXII 6 septembre 1902.

([2]) *L'Éclairage Électrique*, t. XXXII, 5 juillet 1902.



Le poste de Poldhu se composait tout d'abord de deux mâts d'une cinquantaine de mètres de hauteur, placés à une distance de 60 m l'un de l'autre.

Entre les sommets de ces mâts était tendue, comme le marocain des bâtiments de guerre, une draille métallique soigneusement isolée. Une cinquantaine d'antennes en fil de cuivre nu suspendues à cette entremise figuraient un gigantesque éventail. Elles étaient réunies à la base à un conducteur commun relié au secondaire d'un grand transformateur genre Tesla.

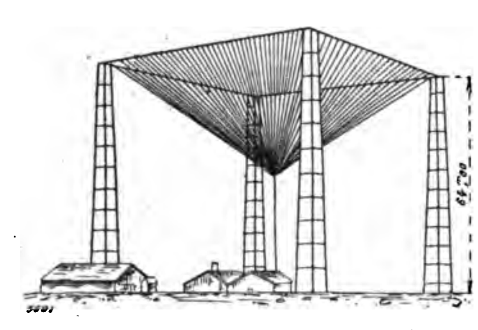


Fig. 1. — Schéma du poste de Poldhu.

Lors des expériences exécutées avec le cuirassé italien *Carlo-Alberto*, l'installation a été modifiée.

Elle comprend actuellement quatre tours en bois (fig. 1) de 64 m de hauteur. Ces tours, qui sont confectionnées de solides pièces de charpente réunies par des entretoises boulonnées, sont disposées au sommet d'un carré de 60 m de côté.

Chacune des sections du réseau d'émission est constituée par une centaine d'antennes identiques suspendues à des drailles tendues entre le sommet des tours, les points d'attache étant distants de 0,50 m environ. Les antennes se réunissent toutes à un conducteur commun sous un angle de 45° environ pour pénétrer dans le poste qui se trouve placé au centre du carré déterminé par les mâts. L'ensemble figure donc une vaste pyramide renversée.

L'énergie électrique est fournie par un ensemble d'alternateurs industriels et de transformateurs à haute tension. Ce sont ces transformateurs qui excitent le circuit de décharge dont le secondaire est relié aux antennes. Ces antennes seraient chargées à une tension telle pendant la transmission que l'on obtiendrait une étincelle de 30 cm longueur entre l'un des conducteur du système et la terre (¹).

En l'absence de données plus précises, il est difficile de se rendre compte de la valeur qu'il convient d'attribuer à ce dernier renseignement.

Dans les expériences de Wimereux, M. Marconi se bornait à utiliser une énergie assez réduite que l'on peut évaluer, pour une centaine de watts dépensés au primaire, à 0,2 joule dans chaque étincelle avec le système de transmission directe dont il avait fait usage. Les étincelles avaient 2 à 3 cm de longueur.

Le système indirect ou par dispositif de Tesla utilisé dans les expériences Biot-Calvi comportait l'association de deux bobines de Ruhmkorff assez puissantes et l'emploi d'une dizaine de jarres réunies en quantité. L'énergie dépensée dans le primaire atteignait 250 watts, les étincelles présentaient à peu près la même longueur qu'à Wimereux et correspondaient vraisemblablement au même potentiel explosif, mais l'énergie mise en jeu dans la décharge était notablement plus grande à cause de la capacité du circuit. Elle atteignait sans doute à chaque décharge 4 à 5 joules.

D'autre part, dans les expériences exécutées en France, soit par le capitaine Ferrié, soit par les officiers de marine, et en particulier par le lieutenant Tissot, expériences dans lesquelles des distances de communication de 200 kilomètres ont été franchies, les étincelles employées avec le système direct atteignaient 5 à 6 cm de longueur (²).

(¹) M. Marconi vient d'installer au cap Breton (Canada), un poste identique à celui de Poldhu avec lequel il se propose de communiquer, non seulement avec l'Europe, mais même avec le cap de Bonne-Espérance.

(²) Avec des étincelles de 0,5 cm, dans les mêmes conditions, les communications s'obtiennent aisément à 20 milles. (Bec du Raz et Saint-Mathieu).

Ainsi, aucun des précédents essais ne paraît avoir été exécuté dans des conditions comparables à ceux exécutés à Poldhu au point de vue de l'énergie mise en jeu.

Les premières tentatives de communication transatlantique. — Le poste de Poldhu avait été établi afin d'essayer d'obtenir des communications d'Europe en Amérique.

Les premiers essais ne furent pas heureux. Le point qui avait été choisi sur la côte américaine était le cap Cod dans le Massachussets. Après un certain nombre de tentatives infructueuses pour recevoir les signaux de Poldhu, le mât fut renversé par un coup de vent. La station réceptrice fut alors installée sur la côte de Terre-Neuve, mais on dut renoncer à établir des mâts permanents et se borner à se servir d'une antenne enlevée par un cerf-volant cellulaire du système Hargrave.

On conçoit d'ailleurs la difficulté que présente l'érection des mâts comparables à ceux de Poldhu sur un littoral balayé en hiver par les tempêtes et celle qu'il doit y avoir à assurer par tous les temps des isolements satisfaisants pour les hautes tensions employées.

C'est avec une antenne ainsi disposée, c'est-à-dire attachée à un cerf-volant et présentant environ 150 m de hauteur verticale, qu'auraient été reçues les fameuses « S » dont il a été question.

Le cohéreur utilisé était le cohéreur Castelli, à goutte de mercure dont la marine italienne s'est servie avec succès [1]

Ce cohéreur est auto-décohérent ; les signaux étaient donc reçus au téléphone.

Selon les observations de M. Marconi, les cohéreurs auto-décohérents qui sont en apparence beaucoup plus sensibles que les cohéreurs ordinaires lorsqu'on les emploie avec un dispositif de réception direct, sont en réalité beaucoup moins avantageux que ceux-ci, car ils ne permettent pas de tirer parti des « jiggers » de syntonie. La résistance d'un auto-décohérent est toujours très faible, de sorte que le condensateur du dispositif syntone se trouve pour ainsi dire en court-circuit et que la résonance ne peut être mise en jeu dans le circuit récepteur. Pour que les effets des vibrations concordantes puissent s'ajouter, s'intégrer si l'on veut, sur le cohéreur, il faut, selon les idées de M. Marconi, que ce cohéreur présente une résistance quasi-infinie après retour.

Il en résulte que ce sont les cohéreurs très résistants qui ont la plus grande sensibilité, mais cette sensibilité ne se manifeste qu'à la condition de faire usage de la syntonie. Or, il ne serait possible de réaliser cette syntonie qu'autant que les antennes sont absolument fixes de manière à présenter une capacité invariable. Lorsque l'antenne est portée par un cerf-volant, ces conditions ne peuvent être qu'imparfaitement réalisées. C'est ce qui explique l'abandon du cohéreur ordinaire et des dispositifs de syntonie dans les expériences de Terre-Neuve, et le recours aux cohéreurs anti-décohérents.

Au contraire, dans une série d'expériences plus récentes exécutées sur le transatlantique *Philadelphia* où l'antenne se trouvait hissée à poste fixe à un mât de 55 m de hauteur, on obtint de bien meilleurs résultats avec les cohéreurs ordinaires qu'avec les auto-décohérents, car il devint possible d'utiliser les « jiggers » de réception. Ainsi, tandis que les auto-décohérents de Castelli ne donnèrent de signaux que jusqu'à 700 milles, les cohéreurs ordinaires permirent d'obtenir des messages déchiffrables jusqu'à une distance de 1 200 milles.

Le détecteur magnétique. — Dans les expériences de grande distance que nous venons d'exposer, c'est en somme sur la transmission seule que M. Marconi a agi. Les appareils

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXXII, p. 13, septembre 1902.



de réception employés étaient identiques à ceux qui ont été utilisés jusqu'ici et les cohéreurs ne paraissent pas différer notablement de ceux dont se servent les autres expérimentateurs.

Mais, lors des expériences effectuées avec le *Carlo-Alberto*, une modification capitale fut introduite dans le récepteur, Cette modification dont on ne saurait encore prévoir la portée est certainement de nature à améliorer considérablement la technique de la télégraphie sans fil.

Elle consiste en la substitution au cohéreur, d'un détecteur d'ondes d'une sensibilité au moins égale, mais d'une régularité et d'une sécurité parfaites.

L'appareil, qui a reçu de M. Marconi le nom de « détecteur magnétique », est basé sur un principe tout différent de celui sur lequel reposent les divers cohéreurs (1).

On sait que les barreaux minces d'acier aimantés à saturation subissent une désaimantation partielle lorsqu'ils sont soumis à l'action de courants de haute fréquence.

Le phénomène a été signalé depuis longtemps déjà par différents observateurs, par Lord Rayleigh entre autres, et a fait l'objet d'une étude spéciale de Rutherford (2) et de Miss Broaks (3).

L'effet de désaimantation est permanent et se produit sous l'action d'ondes électriques émises par un excitateur lorsque le barreau d'acier aimanté à saturation se trouve placé dans une bobine capable d'être soumise à leur influence.

On conçoit que le phénomène puisse être utilisé pour construire un détecteur d'ondes électriques et Rutherford a décrit un tel appareil qui était basé sur la désaimantation partielle d'aiguilles d'acier. Au moyen d'un magnétomètre, il réussit à déceler les effets d'un radiateur électrique à une distance de près de 1 200 m (4).

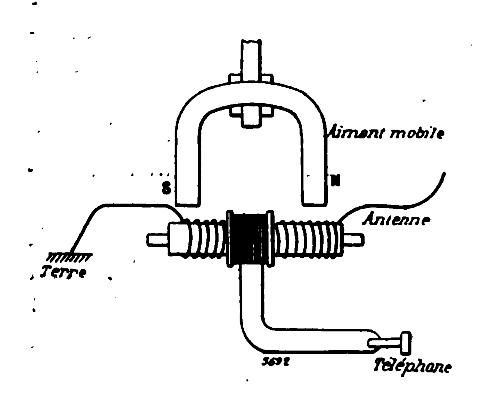


Fig. 2. — Principe du détecteur magnétique Marconi.

Le dispositif de Rutherford était peu sensible. D'autre part la délicatesse de l'appareil, qui comprenait un magnétomètre, et la nécessité de rétablir l'aimantation saturée dans les barreaux d'acier à chaque expérience, le rendaient évidemment impropre à une utilisation pratique.

C'est en modifiant cet appareil que M. Marconi a réussi à obtenir un détecteur très sensible et très simple.

Un noyau de fer dur ou d'acier est placé dans une bobine constituée par une ou deux couches de fil de cuivre isolé (fig. 2). Les extrémités de ce fil sont reliées à l'antenne et à la terre. Un second enroulement beaucoup plus long et disposé par-dessus le premier, est relié à un téléphone. Ce téléphone joue le rôle du magnétomètre de l'appareil de Rutherford et permet de déceler les variations de l'induction magnétique du noyau.

Ce qu'il y a de particulier dans l'appareil, et ce qui en constitue le caractère original, c'est que le noyau d'acier se trouve placé dans le champ magnétique créé par un aimant

(1) « On the magnetic detector », note de M. Marconi communiquée à la « Royal Society » de Londres par le professeur Flemming, 12 juin 1902.

(2) *Philosophical Transactions*, 1897.

(3) *Philosophical Magazine*. Août 1901.

(4) *Philosophical Transactions*, 1897.

mobile entraîné mécaniquement. La force magnétisante subit ainsi des variations incessantes et relativement lentes.

Tandis que le téléphone rend un son très net à chaque émission du transmetteur, et à des distances considérables lorsque l'aimant tourne, il cesse de donner un effet perceptible même à des distances très faibles quand l'aimant est immobile.

On donne naissance au même phénomène en déplaçant le noyau magnétique dans un champ fixe — par exemple en prenant comme noyau mobile un fil d'acier entraîné comme une courroie sans fin par deux poulies selon l'axe d'une bobine à deux enroulements placée dans un champ magnétique dont les lignes de forces sont parallèles au fil d'acier (fig. 3).

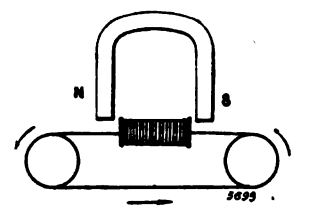


Fig. 3.

La variabilité du champ paraît donc être la condition principale de production du phénomène. M. Marconi en a donné une explication qui repose sur la variation du retard d'aimantation *dans le temps*. L'aimantation suivrait les variations du champ avec un certain retard, mais ce retard se trouverait annulé et l'induction magnétique prendrait immédiatement la valeur qui correspond à celle du champ actuel lors de l'action d'une onde sur le noyau. Il en résulterait des variations brusques dans l'induction, traduites au téléphone par un son.

Toutefois les phénomènes de « traînage magnétique » paraissent trop lents en général pour pouvoir être invoqués ([1]). D'ailleurs ils ne se produisent guère qu'avec le fer doux ([2]) et deviennent peu sensibles avec le fer dur et l'acier. La variation de l'hystérésis proprement dite permet de donner une explication du phénomène sans faire intervenir la question de temps ([3]).

Quelle que soit la valeur de l'explication, il paraît établi que, non seulement l'appareil ainsi construit est susceptible de servir de détecteur d'ondes électriques, mais, ce qui est extrêmement remarquable et ne pouvait guère être prévu, qu'il se montre aussi sensible qu'un cohéreur.

Aussi, M. Marconi après en avoir fait l'essai préalable dans les postes de l'île de Wight et de Poole, l'utilisa-t-il avec succès sur le *Carlo-Alberto*.

Les expériences du *Carlo-Alberto* ([4]). — Pendant le séjour en Angleterre du cuirassé

([1]) Ewing, *Phil. Trans.*, 1885, Klémencic, *Wied. Ann.*, 1897.

([2]) Lord Rayleigh. *Phil. mag.*, 1887.

([3]) On sait que les courants alternatifs et surtout les courants de haute fréquence ont pour effet d'amener une réduction considérable dans la valeur de l'hystérésis, ainsi que l'a remarqué Finzi. L'hystérésis ne doit pas d'ailleurs être considérée comme un retard dans le temps, car elle est à peu près indépendante de la rapidité des variations du champ, mais bien comme un retard de position sur la courbe d'aimantation.

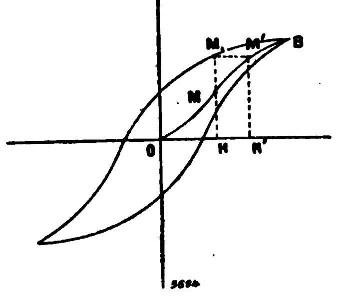


Fig. 4.

Lorsque le champ décroît, l'induction atteint, pour une valeur OH du champ (fig. 4), la valeur M_1H, au lieu de prendre la valeur MH qu'elle aurait s'il n'y avait pas d'hystérésis, c'est-à-dire que tout se passe comme si le point M occupait sur la courbe primitive d'aimantation la position M_1, l'induction prenant la valeur qui correspond à la valeur OH_1 du champ.

Si le barreau se trouve soumis à l'action d'une onde électrique au moment où le champ a la valeur OH et l'induction la valeur M_1H, la disparition de l'hystérésis a pour effet de faire prendre à l'induction la valeur MH au lieu de M_1H. L'induction subit donc une variation brusque. Cette variation donne naissance à un courant induit dans la bobine qui entoure le noyau et se traduit au téléphone par un bruit.

On constate que les signaux sonores obtenus au téléphone sont notablement plus intenses lorsque le champ variable va en croissant que lorsqu'il va en décroissant.

([4]) *Rivista maritima*, octobre 1902. Rapport officiel du lieutenant Solari et du C. A. Mirabello.

***



italien le *Carlo-Alberto* qui avait été envoyé à Portsmouth pour les fêtes du couronnement, la « Wireless Company » s'entendit avec le gouvernement italien pour tirer parti du voyage de retour du bâtiment afin d'organiser des expériences de grande distance. L'itinéraire primitif se trouva modifié par suite des circonstances, et le cuirassé reçut la mission de se rendre à Cronstadt à l'occasion de la visite des souverains italiens en Russie.

Les expériences purent être poursuivies pendant toute la navigation du bâtiment — trajet d'Angleterre à Cronstadt, et retour en Italie. — M. Marconi les dirigeait en personne, ayant pris passage à bord. On se borna d'ailleurs, comme dans les précédents essais, à l'installation d'une station réceptrice destinée à recevoir les messages émis par Poldhu.

La hauteur des mâts du bâtiment fut portée d'abord à 50 m, puis à 54 m, et l'on fut conduit à augmenter progressivement le nombre des antennes jusqu'à en disposer 50 en réseau. Ces antennes, soigneusement isolées de l'entremise ou marocain tendu entre les sommets des mâts auquel elles étaient suspendues, étaient disposées en éventail, et se trouvaient toutes réunies à la base à un conducteur commun selon un dispositif analogue à celui du poste de transmission.

Les appareils récepteurs comprenaient des cohéreurs ordinaires, capables de donner des signaux sur bande Morse, et des détecteurs magnétiques analogues à l'appareil décrit ci-dessus, qui donnaient des signaux au téléphone. La mise à la terre était assurée avec un soin tout particulier par des prises multiples en différents points de la coque et de la machine.

On faisait usage de « jiggers » de réception et l'accord était réalisé syntoniquement avec la station de Poldhu.

Cette station se borna sans doute à émettre d'abord de longues séries de « S », car pendant la traversée d'Angleterre à Cronstadt ce sont seulement des signaux de ce genre que signalent les rapports. Ces signaux étaient d'ailleurs reçus assez irrégulièrement et, après une série très nette, cessaient brusquement, et sans cause apparente, de devenir perceptibles.

Le détecteur magnétique se montra en général plus sensible que les cohéreurs. Mais son avantage ne réside pas tant dans sa sensibilité que dans le fait qu'il présente une régularité de beaucoup supérieure à celle des meilleurs cohéreurs, jointe à une grande facilité de réglage.

Les décharges atmosphériques et, d'une manière générale, l'état électrique de l'atmosphère, apportèrent fréquemment un grand trouble aux signaux.

Néanmoins on put obtenir à plus de 1 000 km des réceptions certaines par-dessus des espaces de terre ferme fort étendus.

On constata de nouveau un fait qui avait été noté lors des précédentes expériences dans l'Atlantique (Philadelphia). C'est que la transmission des signaux s'effectue beaucoup mieux la nuit que le jour. Le fait serait dû à une action de la lumière solaire sur l'antenne du poste d'émission. On sait que la déperdition des conducteurs chargés négativement augmente lorsqu'ils reçoivent des radiations très réfrangibles (ultra-violettes principalement). Cet effet se produirait sur l'antenne d'émission qui est portée à une très haute tension et se trouve chargée négativement à chaque demi-oscillation. Il agirait en réduisant l'amplitude des oscillations.

Les expériences furent poursuivies sans interruption pendant toute la traversée de retour, tant en mer que dans les différentes relâches.

On accrut le plus possible l'énergie émise par Poldhu et l'on put perfectionner les con-



ditions de la réception, ainsi que le réglage des divers appareils pendant la durée du séjour du bâtiment au voisinage du poste où il s'arrêta au retour de Cronstadt.

Cette fois, de véritables messages furent reçus à des distances atteignant 1 500 km. Le voisinage immédiat de falaises élevées n'apporta aucun trouble à la réception des signaux. Ainsi, non seulement en pleine mer, au large des côtes de France et d'Espagne, mais au mouillage même, dans les ports du Ferrol, de Cadix, de Gibraltar qui cependant se trouve fortement encaissé, les messages de Poldhu restèrent lisibles.

Le fait de la réception meilleure des signaux la nuit fut constaté de la façon la plus nette. Au delà d'un millier de kilomètres, il devint absolument impossible d'obtenir de jour une réception quelconque. Mais les signaux émis la nuit continuèrent à être interprétés par le *Carlo-Alberto* en pleine Méditerranée. Ainsi, entre Cagliari et La Spezzia, fut reçue, en dépit de l'interposition de la France entière et des massifs du plateau central et des Alpes, une dépêche de félicitations à M. Marconi envoyée par l'ambassade d'Italie à Londres. Plusieurs messages paraissent avoir été interprétés dans de pareilles conditions, soit à l'aide du détecteur magnétique, soit simplement avec le cohéreur. Un certain nombre de radio-télégrammes échappèrent d'ailleurs totalement aux appareils récepteurs.

Parmi les causes qui paraissent avoir contribué à rendre les réceptions défectueuses, la principale est certainement l'électricité atmosphérique qui causa de fréquentes perturbations. Ce fait qui a été signalé maintes fois dans toutes les expériences de télégraphie sans fil à grande distance et rendit souvent inutilisables lors des manœuvres navales de l'escadre anglaise ou de l'escadre française les appareils de télégraphie sans fil dont étaient munis les bâtiments, a déjà fait l'objet de recherches systématiques du capitaine Ferrié [1].

On sait que ces effets perturbateurs sont de deux sortes :

Ceux qui proviennent des décharges oscillantes des coups de foudre plus ou moins lointains, et ceux qui sont causés par les variations du champ électrique terrestre qui produisent des variations de potentiel entre l'antenne et la prise de terre et donnent des charges statiques à l'antenne.

On arriva à remédier en partie aux dernières causes de perturbations en disposant en dérivation sur l'antenne avant la connexion avec le récepteur une self-induction convenable reliée directement à la terre. Ce dispositif [2] ne présente d'ailleurs qu'une efficacité très restreinte. Pour obvier à la confusion inévitable qu'apportent dans les signaux les orages plus ou moins éloignés, un seul moyen a paru donner quelque résultat. C'est celui qui consiste à réduire la sensibilité du récepteur et à faire usage d'une énergie plus considérable à la transmission. Ce qui montre qu'il ne faut compter en pratique que sur des pertes bien inférieures à celles qui sont obtenues dans les conditions optima de sensibilité des appareils récepteurs; et ce qui paraît de nature à condamner absolument au point de vue pratique les détecteurs de grande sensibilité.

Nous donnons ci-dessous les conclusions du rapport officiel établi par le lieutenant Solari, de la marine italienne, à la suite des expériences que nous venons de résumer [3].

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXX, p. 3, 18 janvier 1902.

(2) Un dispositif analogue avait déjà été employé pour le même objet par M. Tissot. (A. Turpain, les applications pratiques des ondes électriques. C. Naud, 1902).

(3) *Conclusions du rapport du lieutenant Solari.* — 1° Il n'y a pas de distance qui limite la propagation des ondes électriques à la surface de la terre quand l'énergie est proportionnée à la distance à atteindre.

2° Les terres interposées entre le transmetteur et le récepteur n'interrompent pas la communication.

3° La lumière solaire a pour effet de diminuer le champ de rayonnement des ondes électriques et rend nécessaire l'emploi d'une plus grande énergie de jour que de nuit.

4° L'influence des décharges atmosphériques oblige à réduire la sensibilité des appareils récepteurs pour les



Si les premières conclusions paraissent devoir être acceptées sans réserve, il ne semble pas devoir en être de même de la dernière en dépit des brillants résultats obtenus.

Il paraît bien établi que des signaux composés de mots et même de phrases complètes peuvent être transmis à l'aide d'une énorme dépense d'énergie à une distance de 1 000 milles et sans doute davantage.

Mais, tout d'abord l'insécurité des communications reste encore complète à des distances bien inférieures.

On pourrait difficilement s'en rendre compte à l'examen du compte rendu officiel auquel nous avons fait allusion, car seuls figurent les messages qui ont été reçus.

Les autres, ceux qui ont manqué, et ils sont nombreux, n'auraient sans doute jamais été connus que de la « Wireless Company » si, par une circonstante fortuite, M. Nevil Maskelyne, ingénieur de l'Easter-Telegraph Company ne s'était trouvé à même d'intercepter toutes les dépêches envoyées par la station de Poldhu (1).

M. Maskelyne avait été conduit à établir près de Porthcurnow, à une vingtaine de milles de la station de Poldhu, un poste de télégraphie sans fil. Ce poste, gêné d'abord par la surabondance de l'énergie transmise, arriva rapidement par l'emploi de bobines de self-induction intercalées sur l'antenne réceptrice à réduire suffisamment la sensibilité du récepteur (à cohéreur) pour permettre la lecture de tous les messages.

En comparant le texte des signaux ou messages transmis à celui des messages accusés par le *Carlo-Alberto*, on s'aperçoit que, même en ne tenant compte que des signaux de nuit, il y a un déchet considérable. Pour ne citer qu'un fait très caractéristique et sur lequel M. Maskelyne a insisté tout particulièrement, la dépêche qualifiée d'historique par le rapport du lieutenant Solari, et qui a trait aux félicitations envoyées par l'ambassade italienne à Marconi, fut transmise pour ainsi dire sans interruption pendant 55 heures avant d'avoir pu être interprétée par le *Carlo-Alberto*.

Le Poldhu expédiait cette dépêche pour la première fois le 6 septembre à 9 heures du soir, mais ce n'est que le 9 septembre, à 4 heures du matin que le *Carlo-Alberto* reçut le message. Le résultat peut être intéressant au point de vue spéculatif, mais il laisse évidemment beaucoup à désirer au point de vue industriel ou militaire. On sait d'autre part que M. Marconi insiste beaucoup sur la syntonie qu'il serait en mesure de réaliser et nous avons rappelé les moyens qu'il dit employer pour obtenir cet important résultat. Le fait que M. Maskelyne a reçu tous les messages sans faire usage, ainsi qu'il le note expressément, d'aucun moyen d'accord, paraît indiquer que la solution est encore bien incomplète. A la vérité, le poste de M. Maskelyne se trouvait relativement voisin de la station de Poldhu et l'on peut vraisemblablement supposer que c'est à cette circonstance, étant donnée l'énergie mise en jeu, qu'il a pu se passer des conditions de résonance.

Mais d'autres observateurs ont pu faire des constatations analogues à celles qu'a faites M. Maskelyne.

En France même, dans les différents postes du littoral, il est avéré que de nombreux signaux provenant de Poldhu ont été enregistrés — notamment les interminables séries de « S » dont sont invariablement précédés les messages envoyés par la puissante station.

---

rendre indépendants de ces décharges et, en même temps, elle oblige à augmenter l'énergie de la transmission pour obtenir les mêmes effets.

5° La télégraphie sans fil est entrée désormais dans le champ des plus grandes applications pratiques, tant commerciales que militaires sans limite de distance.

(1) « Practical wireless telegraphy » par Nevil Maskelyne. *The Electrician*, 7 novembre 1902.



La Wireless Company se serait d'ailleurs rendu compte que ce fait pouvait se produire en dépit du système de syntonie adopté, car à différentes reprises elle employa, pour essayer d'assurer la discrétion de ses dépêches, un procédé un peu puéril dont l'idée a été autrefois émise par M. D. Tommasi. Ce procédé consiste à émettre une série quelconque de signaux — par exemple une suite ininterrompue de longues et de brèves — en même temps que le message à transmettre, mais avec un transmetteur un peu moins puissant. Les deux signaux se superposent sur les récepteurs voisins du poste d'émission ce qui rend la lecture du message impossible. Mais à grande distance les émissions perturbatrices ne troublent pas la réception, car elles sont moins intenses que les autres.

Il est clair que ce qui est vrai à grande distance pour un récepteur suffisamment sensible reste exact à petite distance pour un récepteur de sensibilité réduite en proportion convenable. Le moyen est donc extrêmement imparfait et ne saurait remplacer un « accord » quelconque. Aussi, M. Maskelyne arriva-t-il sans peine à régler la sensibilité de son récepteur de manière à éliminer les signaux perturbateurs parasites.

Ainsi, il paraît établi que, cette fois encore, les tentatives faites pour obtenir la résonance de deux postes éloignés aient à peu près échoué. Dans de telles conditions on doit se demander quel peut être l'avenir de la télégraphie sans fil comme moyen de communication inter-océanique. Un seul poste comme celui de Poldhu pourra communiquer peut-être avec un poste analogue situé au Cap Breton.

Mais les ondes puissantes émises par ces postes noieront tous les signaux des postes plus proches et rendront impossible l'usage de la télégraphie sans fil dans un rayon immense.

Il est clair d'abord que ces puissants postes ne sauraient fonctionner qu'à la condition de se trouver seuls de leur espèce et que l'installation d'un poste de même puissance faite par une compagnie rivale les paralyserait totalement.

Mais on peut se placer à un autre point de vue. La télégraphie sans fil, restreinte à des communications de bâtiment à bâtiment, ou de bâtiments au littoral, était susceptible de rendre les plus grands services à des distances inférieures ou égales à une cinquantaine de milles.

Au point de vue militaire, ce mode de communication a fait ses preuves et paraît même être entré dans la pratique courante chez les différentes puissances maritimes.

Il eût été possible sans aucun doute de trouver d'autres applications intéressantes.

La télégraphie sans fil donnait en effet le moyen aux navires en détresse sur les côtes de demander du secours et pouvait ainsi permettre de sauver nombre d'existences humaines. Si le *Drumond-Castle* avait pu utiliser la télégraphie sans fil lorsqu'il s'est jeté par brume épaisse sur les récifs de l'Iroise, sans doute aurait-on pu arriver à temps pour arracher à la mort ses 300 passagers.

Un poste comme celui de Poldhu annihile pratiquement dans un rayon de 100 milles toute autre station et, ainsi que le dit si justement M. Maskelyne, s'il lui plaît de faire son « petit orage », il rend toutes les autres communications impossibles et les navires en détresse n'ont qu'à attendre la fin de ses signaux.

On est donc en droit de se demander dans quelle mesure il est légitime d'autoriser l'installation de pareilles stations, et l'on doit souhaiter, dans l'intérêt même du développement de la télégraphie sans fil, qu'une entente internationale s'établisse afin d'en réglementer étroitement l'emploi.

REYVAL.



REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

Nouvel accumulateur D. Tommasi. Communiqué par l'inventeur.

Les plaques de cet accumulateur (fig. 1 et 2) se composent d'un cadre en plomb contenant un très grand nombre de lamelles également en plomb, très rapprochées les unes des autres, destinées à retenir la matière active et à y amener le courant dans ses différents points. Ces lamelles, par groupe de 7, sont disposées alternativement suivant deux directions rectangulaires ; les unes sont verticales, les autres horizontales.

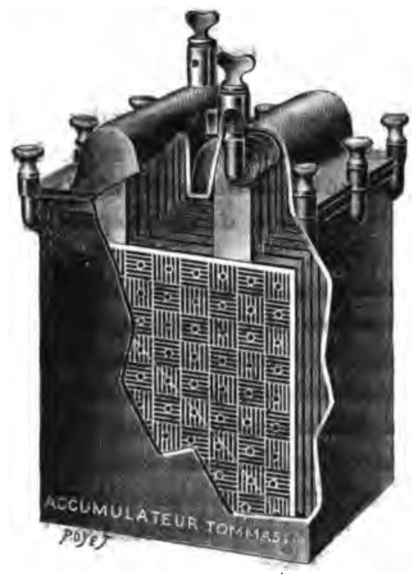


Fig. 1. — Accumulateurs D. Tommasi.

Par cette disposition, la dilatation de la plaque se fait à la fois dans les deux sens et, par suite, elle est beaucoup moins sensible.

Chaque plaque renferme 81 cases de 15 mm² contenant, ainsi qu'il a été dit, 7 lamelles. Au centre de chaque case, la lamelle correspondante porte une petite bague de plomb destinée à permettre le passage de l'électrolyte et sa diffusion dans la matière active. La plaque est munie sur ses deux faces d'une lame diagonale en plomb permettant au courant de se rendre directement dans tous les points de la plaque, assurant ainsi une répartition uniforme du courant. La matière active (oxydes de plomb ou plomb spongieux) est introduite dans tous les espaces vides que présente la plaque et est retenue par les différentes lamelles qui traversent ces espaces vides.

La matière active qui obstrue les petites bagues placées au milieu de chaque case est ensuite enlevée de façon que l'électrolyte puisse venir facilement en contact avec tous les points de la matière active.

Cette disposition évite la formation de courants de concentration, par suite de la diffusion parfaite de l'électrolyte dans les différentes parties de la masse active.

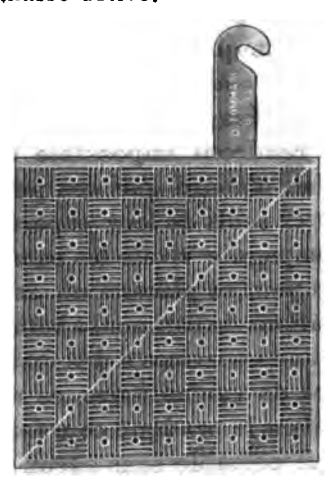


Fig. 2. — Plaque.

Les constantes de cet accumulateur du type T_5 peuvent se résumer ainsi :

Nombre de plaques	5
» positives	2
Longueur des plaques en mm	140
Largeur » » » »	140
Epaisseur » » » »	3
Durée de la décharge en heures	5
Différence de potentiel moyenne utile en volts	1,9
Débit en ampères	6
» » » par kg de plaques utiles [1]	3,8
Capacité en ampères-heure	2,8
« » » » par kg de plaques	17,75
Puissance en watts	11,4
» » » par kg de plaques	7,1
Energie en watts-heure	54,15
» » » » par kg de plaques	33,7

[1] 2 positives et 2 négatives.

Au régime d'un ampère par kilogramme de plaque, on arrive couramment à une capacité de 36 à 38 ampères-heure, soit 22 à 24 ampères-heure utilisables, toujours par kilogramme de plaques.

DISTRIBUTION

Distances explosives dans l'air, les huiles et autres liquides isolants, par **E. Jona.** *Atti dell'Associazione elettrotecnica italiana*, t. VI, juin 1902.

La distance explosive est mesurée entre un disque et une pointe de bronze, plongés dans une cloche de verre renversée qui renferme le liquide isolant. On établit entre cette pointe et le disque la différence de potentiel la plus basse, et on les rapproche jusqu'à ce qu'éclate une étincelle ou une série de quelques étincelles. Puis on accroît la distance et, au moyen d'un transformateur, on augmente la différence de potentiel jusqu'à obtenir de nouveau une étincelle, et ainsi de suite.

Les expériences ont été portées jusqu'à des différences de potentiel de 165 000 volts efficaces, soit un maximum de 250 000 volts environ. Dans l'air, la distance explosive est pratiquement la même, quelle que soit la forme des électrodes : car les faibles aspérités de la surface se comportent toujours comme des pointes. Mais dans les liquides isolants, on constate des différences très notables dans la distance explosive d'après la forme des électrodes.

Les huiles, d'origine animale ou végétale, ne sont jamais des corps de composition bien définie ; on trouve, par conséquent, des variations dans leurs propriétés, selon leur provenance. Souvent aussi elles renferment des traces d'humidité, qui sont très nuisibles quand elles doivent être employées comme isolants. On arrive à les en débarrasser à peu près complètement en les chauffant dans une chaudière à une température convenable.

Souvent aussi elles renferment des poussières en suspension ; ces poussières s'agitent violemment sous l'action du champ électrique, mais influent peu sur la distance explosive.

Il est nécessaire aussi que les huiles n'attaquent pas les corps avec lesquels elles se trouveront en contact. Beaucoup attaquent le caoutchouc, certaines l'ébonite même ; beaucoup, surtout les huiles de pétrole, attaquent les métaux, en particulier le cuivre, surtout en présence de l'air.

La distance explosive n'est pas absolument constante dans les huiles. Fréquemment, il arrive qu'elle diminue quand l'huile a déjà été traversée par une série d'étincelles, insuffisantes pour la carboniser. On peut alors, en maintenant la différence de potentiel, rapprocher les électrodes sans qu'une nouvelle étincelle éclate [1].

Le tableau ci-dessous donne la résistivité et quelques autres propriétés des liquides étudiés.

En construisant les courbes dont les ordonnées représentent les différences de potentiel et les abscisses les distances explosives, on trouve qu'en général elles présentent leur concavité du côté de l'axe des abscisses.

A partir de l'origine, ces courbes ont d'abord une portion presque rectiligne : aux basses différences de potentiel, les distances explosives sont donc à peu près proportionnelles à ces différences. Fréquemment, la courbure s'accentue dès l'origine, puis la courbe fait un coude, au delà duquel elle s'incline davantage sur l'axe des abscisses. Dans certains cas, le coude se trouve très haut sur la courbe, est très prononcé, et au delà la courbe devient presque parallèle à l'axe des abscisses. Dans le cas du benzol et du xylol, la courbe représentative est une droite de 0 à 165 000 volts, droite faisant un grand angle avec l'axe des distances explosives.

Avec l'huile de paraffine, on obtient une portion de courbe (de 0 à 50-60 000 volts) qui se continue par une portion rectiligne.

Le toluol, qui appartient à la même série chimique que le benzol et le xylol, se comporte différemment : la courbe présente un coude à 100 000 volts. Avec l'huile de lin cuite, on obtient deux coudes (50 000 et 120 000 volts).

Des quelques expériences effectuées sur l'air liquide, il semble que sa rigidité diélectrique soit quatre à cinq fois plus grande que celle de l'air gazeux.

Influence de la température sur la rigidité diélectrique. — Malgré la diminution, parfois

(1) Ainsi dans l'huile de résine, au bout d'une minute, sous une tension de 50 000 volts efficaces, il se produisait une étincelle entre un plan et une boule de laiton de 20 mm de diamètre, écartés de 30 mm : ensuite l'on pouvait rapprocher la boule à 20 mm du plan et maintenir la tension de 50 000 volts, un quart d'heure sans qu'une nouvelle étincelle éclatât.



NATURE DU LIQUIDE	DENSITÉ	TRAITEMENT	RÉSISTIVITÉ en mégohm-cm	TEMPÉRATURE	OBSERVATIONS
Tétrachlorure de carbone	1,610 (16°)		1 720 000	16°	Bouillant entre 76°,5 et 78°,2 : produit pur du commerce.
Toluène	0,872 (16°)		940 000	16°	Bouillant entre 110° et 111°.
Alcool amylique	0,816 (19°)		9,6	16°	» 125° et 137°.
Xylène	0,868 (16°)		670 000	16°	» 137° et 145°.
Dissolution de colophane dans le xylène	à poids égaux		25 000	16°	L'addition de colophane diminue la rigidité électrique.
Benzol	0,888 (16°)	épuré	1 200 000	16°	Bouillant entre 80 et 95°.
Huile de ricin			390 000	17°	Huile pour usages industriels : acides libres 6,2 p 100.
» lin			32 000	15°	
» colza			95 000	15°	
» baleine	0,925 (17°)	naturelle	350 000	15°	Acides libres 2,5 p. 100.
		desséchée à 110°	330 000	15°	
» pieds de bœuf	0,930	naturelle	310 000	20°	» 8,2 p. 100.
		desséchée	365 000	20°	
» sésame		desséchée	178 000	15°	» 5,3 p. 100.

NATURE DU LIQUIDE	DENSITÉ	TRAITEMENT	RÉSISTIVITÉ en mégohm-cm	TEMPÉRATURE	OBSERVATIONS
Huile d'olive	»	chauffée 4 h. à 110°	242 000	16°	Acides libres, 27 p. 100 (calculés comme acide oléique).
» de chanvre	0,936 (17°)	Id.	18 200	15°	Acides libres, 2,6 p. 100.
		naturelle	28 500	15°	
» maïs	»	chauffée 4 h. à 115°	70 000	15°	» 15,4 p. 100.
» noix	0,936 (17°)	Id.	260 000	15°	» 0,6 p. 100.
» palme	»	chauffée 6 h. à 120°	50 000	140° (liq.)	» 16,5 p. 100.
			460 000	15° (sol.)	
» résine	0,997 (16°)	chauffée 4 h. à 115°	300 000	15°	Ne renferme pas d'huile bouillant au-dessous de 250° ; exempte de résine.
Huile pour transformateurs de la Rheinische Vaseline Oel und Fett Fabrik Hambourg	1,018 (16°)		5 600 000	16°	Huile de résine plus dense que l'huile de résine ordinaire du commerce ; sans huiles bouillant au-dessous de 280° ; absolument exempte de résines.
			3 000	85°	
Paraffine liquide	Point de fusion (51°)		23 000 000	80°	
			66 000 000	55°	
			108 000 000	51°	
Huile de paraffine	»	chauffée à 110°	5 550 000	17°	Absolument incolore et exempte de soufre.
Huile de pétrole brute	»		13 200 000	17°	Huile dense, brune, fortement souillée d'hydrocarbures goudronneux à partir de la naphtaline.
» blanche raffinée	»		13 000 000	17°	Pétrole commercial de 1re qualité.

énorme, que subit la résistivité de certains isolants, quand leur température s'élève, la rigidité diélectrique non seulement ne diminue pas, mais même augmente.

Rigidité diélectrique vis-à-vis des courants de haute fréquence. — Les expériences rapportées dans ce qui précède ont été effectuées avec des courants alternatifs de fréquence 42. Si on veut déterminer la rigidité diélectrique vis-à-vis des courants de haute fréquence, tels que les courants secondaires d'un transformateur Tesla, on a quelque difficulté. D'abord, la mesure de la différence de potentiel n'est pas aisée et on est même en droit de se demander si cette expression a encore un sens précis. Ces courants sont constitués par des groupes d'oscillations qui ne sont pas égales entre elles et se succèdent à des intervalles variables. Il n'y a plus à considérer la différence de potentiel efficace, mais la différence de potentiel maxima, laquelle échappe aux mesures directes.

Pour avoir une idée de la manière dont se comportent les huiles dans ces conditions, on peut comparer les distances explosives entre un plan et une pointe, obtenues dans l'air et dans l'huile.

Par exemple, avec un transformateur Tesla, une étincelle de 500 mm dans l'air est réduite à 77 mm dans le pétrole ; dans l'huile de paraffine, de 450 mm à 70. Avec les courants de fréquence 42, l'étincelle de 500 mm correspond à une différence de potentiel efficace de 168 000 volts, qui donnerait dans le pétrole une étincelle de 150 mm ; le rapport $\frac{150}{77}$ montre que la rigidité diélectrique du pétrole est deux fois plus grande environ pour les courants Tesla que pour les courants de fréquence 42. Il en est de même à peu près pour l'huile de paraffine.

Conclusions. — D'après ce qui précède, la benzine est l'un des liquides qui possède la rigidité diélectrique la plus grande ; mais elle a l'inconvénient d'être volatile, inflammable et de dissoudre beaucoup de composés organiques employés dans la construction des appareils. L'huile de paraffine est un bon isolant : elle a l'avantage d'être transparente. Mais il est nécessaire qu'elle ne renferme pas de soufre, sans quoi elle attaque le cuivre. Le prix élevé de cette huile pure empêche de l'employer dans les transformateurs industriels.

A cet usage, on pourra se servir d'huile de résine, pourvu que les tensions ne dépassent pas 50-60 000 volts. Les huiles de résine commerciales desséchées par le chauffage sont suffisantes. L'huile de résine n'a pas d'action sur le cuivre ; fort peu sur le caoutchouc et l'ébonite; n'est pas volatile ou fort peu, ne s'enflamme qu'à une température très élevée et est d'un prix modique. En choisissant les qualités les plus denses, on arrive à obtenir un isolant qui peut supporter les tensions de 100-200 000 volts réalisées dans les transformateurs de laboratoire.

M. L.

ÉLECTROCHIMIE

Electrolyseur D. Tommasi pour la préparation du plomb spongieux. Communiqué par l'inventeur.

Cet électrolyseur (fig. 1) se compose d'une cuve rectangulaire contenant une solution d'acétate double de plomb et de sodium additionnée de certains composés qui ont pour but de diminuer la résistance électrolytique du bain et d'empêcher la formation du peroxyde de plomb.



Fig. 1. — Electrolyseur D. Tommasi.

Dans ce bain, plongent deux anodes en plomb; au milieu de ces anodes est disposée la cathode, laquelle est constituée par un disque métallique pouvant être animé d'un mouvement de rotation.

Le disque ne plonge pas entièrement dans le bain, mais seulement d'un segment, de telle sorte que chaque portion de la zone plongeante du disque se trouve alternativement dans l'air et dans le liquide qui sert d'électrolyte.

La partie du disque qui émerge du liquide de la cuve passe, par suite de son mouvement de rotation, entre deux frotteurs en forme de racloirs, lesquels ont pour but non seulement d'enlever le plomb spongieux [1] au fur et à mesure de sa production, mais encore de dépolariser la surface du disque. Des rigoles convenablement disposées reçoivent le métal détaché et l'amènent dans un récipient où il est recueilli.

Le plomb électrolytique se présente sous l'aspect d'une masse spongieuse composée d'une multitude de petits cristaux très légers et très plastiques. Le plomb, en cet état, constitue une excellente matière active pour les accumulateurs de n'importe quel système.

En effet, la grande plasticité de ce plomb rend facile son application sur les électrodes des accumulateurs et son extrême état de division en fait une substance éminemment propre à se transformer rapidement en peroxyde de plomb sous l'influence du courant électrique.

MESURES

Ondographe Hospitalier.

Nous n'avons pas à revenir sur le principe de cet instrument, qui a été donné, en même temps que la description du premier modèle, il y a dix-huit mois [1].

Le modèle définitif, tel qu'il est construit par la Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz, est représenté par la figure 1. La figure 2 donne une vue de la trousse renfermant tous les accessoires : pied mobile, longue aiguille, manivelle, papier, rouleau pour l'inscription sur longues bandes, encre rouge et noire, alcool, plume et plume de rechange. La figure 3 montre les connexions.

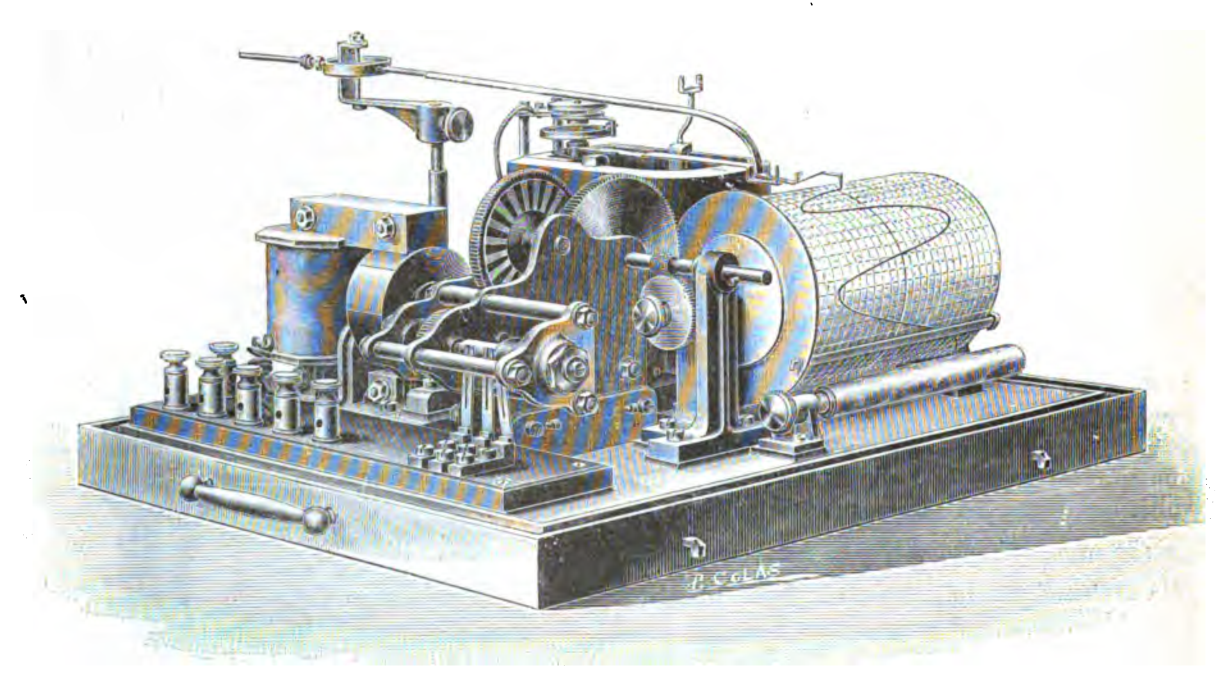


Fig. 1. — Vue d'ensemble de l'ondographe.

Le moteur synchrone est à quatre pôles, ce qui a permis de réduire de moitié la vitesse angulaire des organes en mouvement. La longue aiguille a 35 cm de longueur, ce qui fournit des ordonnées sensiblement rectilignes lorsque l'amplitude ne dépasse pas 3 à 4 cm. L'inscription se fait sur 1.000 périodes par 999 impulsions et le cylindre inscripteur reçoit 3 périodes complètes, chaque période ayant une abscisse de

(1) Lorsque le plomb renferme de l'argent, ce métal étant insoluble, le bain se dépose au fond de la cuve dans un récipient perforé destiné à le recueillir.

(1) *Écl. Élect.*, t. XXVIII, p. 64, 13 juillet 1901.



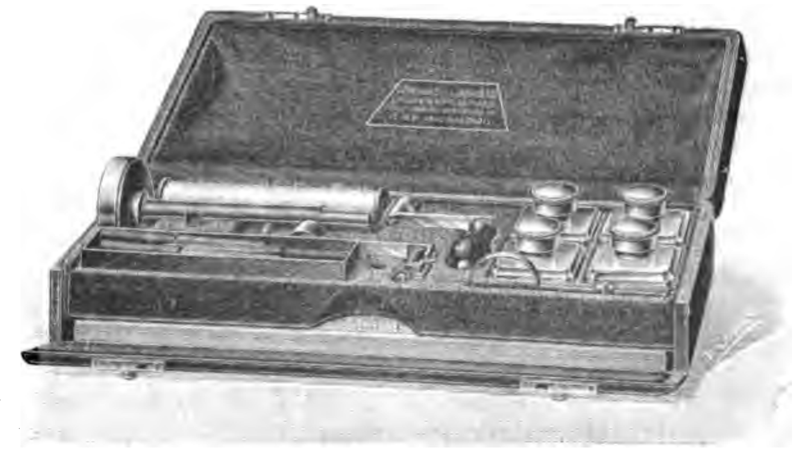


Fig. 2. — Trousse des accessoires (échelle 1/5).

96 mm de longueur. A la fréquence de 40 périodes par seconde, l'inscription d'une courbe se fait en 25 secondes et le papier défile sous la plume à la vitesse de 4 mm : sec environ, vitesse que l'on peut doubler et même tripler pour des fréquences supérieures, grâce à l'emploi d'un papier spécial et d'une plume parfaitement équilibrée.

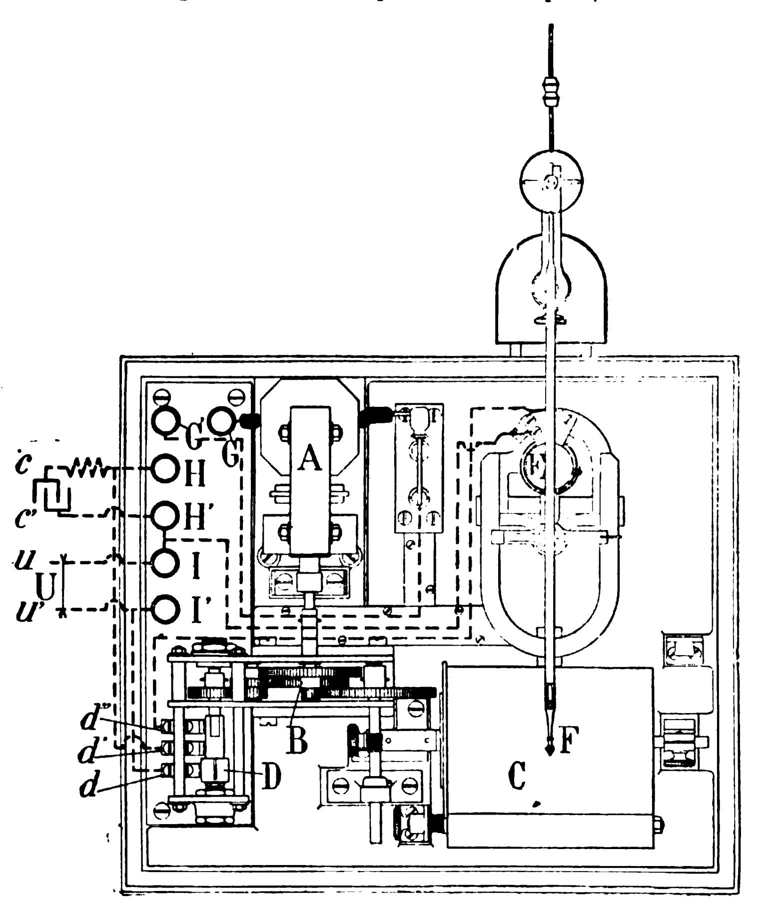


Fig. 3. — Plan de l'ondographe (échelle 1/5).

A, moteur synchrone; B, train d'engrenages; C, cylindre enregistreur; D, commutateur; E, galvanomètre; F, plume; G, G', bornes d'alimentation du moteur; H, H', bornes du condensateur; I, I', bornes d'attache de la différence de potentiel à étudier.

Les divers isolements des circuits sont établis pour 200 volts et le moteur étudié pour fonctionner à 110 volts pour des fréquences variant entre 25 et 70 par seconde. Une simple modification du bobinage permet de fonctionner avec des tensions et des fréquences différentes.

DIVERS

Sur l'induction unipolaire, par **H. Cahen**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 921-926.

Dans un mémoire récent (1), M. Hoppe décrit une expérience sur l'induction unipolaire. Cette expérience tend à prouver que la force électromotrice d'induction a son siège dans le circuit fixe par rapport à l'aimant ou, en d'autres termes, que l'aimant entraîne dans son mouvement les lignes de force magnétique.

(1) Lorsque deux aimants s'attirent, nous admettons dans nos idées modernes que cette attraction s'opère par l'intermédiaire des lignes

Il tire cette conséquence du fait que cette force électromotrice s'annule quand on fait tourner avec la même vitesse l'aimant et le circuit induit, de telle sorte que leur déplacement relatif soit nul.

D'après M. Cahen, cette conclusion ne s'impose pas. Les raisons qu'il en donne sont intéressantes et il me semble qu'il introduit dans la question des considérations nouvelles.

En général, on suppose de deux choses l'une : ou bien que les lignes de force magnétique sont invariablement liées à l'aimant ou bien qu'elles sont fixes dans l'espace. Il ne paraît pas jusqu'à présent qu'il soit possible de donner par l'expérience une vérification de l'une ou l'autre de ces hypothèses. Mais on peut se proposer de chercher ailleurs une hypothèse susceptible de fournir l'explication des phénomènes observés.

M. Cahen pense trouver cette explication dans la résistance qu'offre au mouvement des lignes de force le milieu dans lequel elles se déplacent. Cette résistance peut avoir une double cause. L'une est de nature purement magnétique, analogue au frottement mécanique.

La deuxième cause est la résistance qu'offre au déplacement des lignes de force un circuit fermé, suivant la loi de Lenz. Les phénomènes sont ici plus compliqués. Cette résistance ne dépend pas de la matière du circuit, mais seulement de ses dimensions géométriques et de ses propriétés électriques. Nous ne connaissons rien de précis sur la nature de cette résistance ; mais rien ne nous empêche de la considérer comme une espèce de frottement moléculaire entre la matière et les lignes de force. Nous devons admettre encore qu'elle se produit même quand le circuit induit est ouvert [1].

Les actions mécaniques qui s'exercent entre deux aimants ou entre un aimant et un circuit permettent de se faire une idée de la nature et de la grandeur de cette résistance.

Soient deux plans parallèles indéfinis ; aimantés en sens contraire : les lignes de force magnétique sont perpendiculaires aux plans. On imprime à l'un des plans une vitesse v perpendiculaire aux lignes de force, l'autre restant fixe. La résistance qui s'oppose au mouvement des lignes de force se traduira d'abord par une distorsion du champ, les lignes de force restant parallèles ; puis au delà d'une certaine limite par le champ lui-même ; avec une certaine vitesse v_c elle ne peut être fonction que de la vitesse relative du champ par rapport à l'aimant. D'autre part, les lignes de force se déplaçant à la surface de l'aimant fixe, éprouveront aussi une résistance.

Si les aimants sont identiques, ces deux résistances seront égales et elles n'influeront plus sur le mouvement du champ, passé la limite signalée ci-dessus.

Autrement, les lignes de force se déformeront jusqu'à ce que leur tension devienne égale à la plus petite des résistances de frottement. Ensuite, le champ se déplacera par rapport à l'aimant qui présente cette plus petite résistance, mais restera fixe relativement à l'autre.

L'action de ces résistances correspond à une dépense d'énergie mécanique qui doit se transformer en énergie calorifique ou énergie magnétique potentielle. Ce n'est guère que par des mesures calorifiques qu'on pourrait chercher la vérification expérimentale des idées proposées dans ce qui précède.

L'effet doit être très petit, à en juger par la faiblesse des phénomènes qu'on observe dans les circuits ouverts.

Au point de vue théorique, on peut établir une analogie étroite entre les phénomènes d'induction et les phénomènes de frottement entre corps matériels. L'analogie fondamentale est la suivante : Dans les mouvements des corps solides ou liquides éprouvant un frottement, la chaleur produite par le frottement est minima. De même dans les phénomènes d'induction la chaleur équivalente au travail de la résistance que rencontrent les lignes de force est minimum. Autrement dit, si on exprime que ce travail est minimum, on retrouve les lois connues de l'induction.

Un point important est de connaître la loi sui-

---

de force. Il est donc nécessaire que ces lignes de force adhèrent à l'aimant avec une certaine force et par conséquent qu'un déplacement de ces lignes dans l'aimant rencontre une certaine résistance. Les phénomènes bien connus de l'hystérésis et de la viscosité magnétique s'accordent bien avec cette explication.

[1] En apparence, cette supposition implique une contradiction. Lorsque le circuit est ouvert, la résistance ne se fait sentir qu'au début du mouvement et devient inappréciable quand l'équilibre électrostatique est atteint. Pour lever cette contradiction, on admettra que même à ce moment, il se produit encore une résistance moléculaire très petite.



vant laquelle le frottement magnétique dépend de la vitesse. D'après les expériences sur l'hystérésis, il semble que, pour le fer doux, le coefficient de frottement soit indépendant de la vitesse. Pour les autres milieux, on ne saurait actuellement admettre cette loi que comme hypothèse.

La force électromotrice d'induction est indépendante de la vitesse de déplacement des lignes de force et ne dépend que de la vitesse relative du circuit induit et de l'aimant. Pour que la chaleur totale dégagée soit minima, il faut que la chaleur provenant du frottement magnétique soit nulle, c'est-à-dire que le champ reste fixe par rapport à l'aimant.

Il n'en est plus de même, s'il y a d'autres masses magnétiques dans l'espace : car le mouvement du champ dépend surtout de la forme et de la distribution des masses magnétiques.

De la loi relative au minimum de chaleur, on conclut facilement qu'il est impossible de construire une dynamo sans fer. Le minimum de chaleur dégagée serait réalisé, en effet, quand aucun courant ne passe dans le système et c'est là le seul état stable possible.

Quand on veut résoudre la question directement, on n'aperçoit pas cette conclusion d'une manière aussi nette. Plusieurs auteurs sont arrivés même à croire à la réalisation d'une telle machine : mais parce qu'ils avaient négligé de tenir compte de la réaction de l'induit sur le champ inducteur. M. L.

Réflexion des rayons cathodiques et nouveau phénomène d'émission secondaire qui l'accompagne, par L. **Austin** et **H. Starke**. *Drude's Annalen*, t. IX, p. 271-293, oct. 1902.

Les rayons cathodiques tombent sur un réflecteur qui est relié au sol par l'intermédiaire d'un galvanomètre. Ce dernier accuse l'existence d'un courant négatif correspondant aux charges transportées par les rayons. Ce courant ne représente pas la totalité de ces charges, à cause des pertes dues à la diffusion. Si on tourne le réflecteur autour d'un axe situé dans son plan, l'intensité diminue à mesure que l'incidence augmente, devient nulle ; puis, vers l'incidence de 70°, change de signe. Si l'incidence augmente encore, l'intensité de ce courant positif croît et peut même devenir plus grande en valeur absolue que celle du courant observé pour l'incidence normale.

Ce courant positif n'est pas dû à des rayons-canal, car il s'annule quand on fait dévier les rayons cathodiques par un champ magnétique, de manière qu'ils ne rencontrent plus le réflecteur : les rayons-canal, beaucoup moins déviables, tomberaient encore, dans ces conditions, sur le réflecteur.

Il ne peut résulter non plus de la différence de potentiel de contact entre le gaz et le métal, car les variations qu'on observe d'un métal à l'autre n'ont aucun rapport avec l'ordre des métaux dans la série des différences de potentiel. En faisant l'expérience avec les rayons de Lénard (rayons cathodiques qui ont traversé une feuille d'aluminium battu), on trouve que le phénomène est indépendant de la pression du gaz dans l'espace qui entoure le réflecteur. Il ne peut donc être attribué au gaz rendu conducteur par les rayons cathodiques.

Il résulte d'une émission secondaire d'électricité négative, provoquée par les rayons cathodiques (1).

Il est impossible de démontrer par des expériences directes l'existence de cette émission, parce qu'on ne réussit pas à séparer les rayons ainsi produits des rayons incidents.

Le courant négatif décroît plus, quand l'incidence des rayons cathodiques devient oblique, d'autant plus que la différence de potentiel de décharge sous laquelle ces derniers ont été produits, est plus grande. L'angle d'incidence qui correspond au courant nul (c'est-à-dire à l'égalité de la charge reçue par le réflecteur et des pertes par réflexion et par émission), correspond à un angle d'incidence d'autant plus grand que cette différence de potentiel est plus grande. En d'autres termes, l'effet positif diminue en même temps que la vitesse des rayons cathodiques.

La nature du métal qui constitue le réflecteur et l'état de sa surface exercent une très grande influence sur la grandeur de l'effet positif. Cet effet est d'autant plus prononcé que le métal est plus dense. Le courant transmis par un réflecteur de platine s'annule pour l'incidence de 62°, alors que, toutes choses égales d'ailleurs, il faut

(1) La lumière ultraviolette émise par le tube à décharges ne peut être mise en cause, puisque l'on réduit le courant à zéro en déviant les rayons cathodiques par un champ magnétique.



atteindre 76° avec le cuivre, 81° avec l'aluminium. Avec un réflecteur en cuivre dont l'une des faces est polie fin et dont l'autre est seulement passée à l'émeri, on peut facilement comparer le phénomène dans les mêmes conditions. Sous l'incidence de 85°, la face polie accuse un courant positif aussi intense en valeur absolue que le courant négatif observé sous l'incidence normale; avec la face émerisée, le courant reste négatif.

Pour reconnaître si, parmi les rayons émis par le réflecteur, il s'en trouvait dont la vitesse fût du même ordre de grandeur que celle des rayons incidents, MM. Austin et Starke ont eu recours à l'action du champ magnétique. Les rayons secondaires étaient reçus dans un cylindre de Faraday, relié au galvanomètre. La déviation de celui-ci s'annulait dès qu'on faisait agir le champ magnétique sur le faisceau incident.

Si des rayons facilement déviables arrivaient au cylindre en outre des rayons réfléchis, la déviation du galvanomètre diminuerait au moment où on approche l'aimant. Il n'en est rien et la déviation ne fait que s'annuler brusquement, quand les rayons réfléchis sont déviés.

D'autre part, les rayons réfléchis ne sont pas absorbés au voisinage du réflecteur. On le vérifie en recueillant une partie de ces rayons par une toile métallique enveloppant le réflecteur, sauf une fente étroite pour laisser passer les rayons incidents.

La fluorescence produite par les rayons réfléchis sous l'incidence normale, décroît quand l'angle de réflexion augmente. Sous l'incidence de 45°, la fluorescence est à peu près uniforme; sous l'incidence de 80°, la fluorescence croît avec l'angle de réflexion et devient très grande à l'intersection de la paroi de verre avec le plan du réflecteur.

Le phénomène d'émission signalé ci-dessus ne se produit pas sous l'incidence normale. En effet, les mesures donnent toujours le même pouvoir réflecteur, ce qui ne se comprendrait guère si le phénomène positif, si variable, se produisait. Le rapport des pouvoirs réfléchissants de deux métaux sous l'incidence normale, est indépendant de la différence de potentiel de décharge; sous l'incidence de 50°, il varie au contraire notablement. Sous l'incidence normale le pouvoir réflecteur est indépendant de l'état de la surface du métal; il n'en est plus de même sous l'incidence oblique.

Les rapports des pouvoirs réfléchissants de deux métaux est à peu près le même, sous l'incidence normale; qu'il soit mesuré d'après les quantités d'électricité réfléchies dans un cylindre de Faraday ou d'après les déviations d'un galvanomètre intercalé entre le réflecteur et le sol. Sous l'incidence oblique, ce rapport dépend de la méthode employée; il faut attribuer cette différence à l'effet positif qui se fait sentir dans le deuxième mode de mesure.

Il est vraisemblable que les pouvoirs réfléchissants eux-mêmes sont indépendants de l'incidence des rayons primitifs. M. L.

Influence des rayons Becquerel et d'un champ électrostatique sur la décharge par étincelle, par **M. Cantor**. *Drude's Annalen*, t. IX, p. 452-457, octobre 1902.

D'après Elster et Geitel, les rayons de Becquerel exerceraient sur un exploseur une action analogue à celle des rayons ultraviolets et cette action serait indépendante de la matière des électrodes.

L'influence de la matière des électrodes ne se fait sentir que si une capacité convenablement choisie est placée en dérivation sur l'exploseur (1).

Entre électrodes de platine, l'étincelle qui se produit à 5 mm de distance, se produit encore à 30 cm sous l'action des rayons Becquerel. Entre des électrodes d'aluminium, la distance explosive n'est pas changée. L'or, le cuivre, l'argent, le laiton, le fer sont aussi influencés, moins toutefois que le platine.

Il est à remarquer qu'une partie des rayons émis par le bromure ont été absorbés par la feuille d'aluminium. Plus les rayons absorbables sont supprimés, plus est nette la différence entre les divers métaux.

Ces résultats peuvent s'interpréter de la manière suivante :

(1) Les électrodes sont constituées par des fils de 2 mm de diamètre, dont les extrémités sont arrondies : les armatures d'une bouteille de Leyde dont la capacité est 3900 cm, sont reliées aux extrémités du secondaire d'une bobine. Dans chaque cas, on obtient le potentiel explosif en faisant varier le courant primaire de la bobine.

La substance radioactive (bromure de baryum radifère) est enfermée dans une boîte d'ébonite dont le couvercle est fait d'une feuille d'aluminium.



Les rayons très absorbables, qui rendent l'air très conducteur, agissent sur la décharge quelle que soit la nature des électrodes. Si les moins absorbables atteignent seuls l'exploseur, ils n'ont que peu d'action sur l'air; leur différence d'action suivant la nature du métal des électrodes répond à leur absorption différente par les divers métaux.

La décharge par étincelle est influencée aussi par un champ électrostatique. Ce champ paraît modifier la distribution du potentiel, surtout au voisinage de la cathode [1]. M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS

Les étincelles d'interrupteurs, par **A. Russell.** *Journal of the Institution of. El. Eng.*, XXXI, p. 1204-1217, juin 1902.

L'unification est loin d'être réalisée dans les dimensions adoptées par les constructeurs et par les règlements pour les interrupteurs destinés à un voltage et un courant déterminés. L'auteur de cette communication s'est proposé de faire à ce sujet un ensemble d'essais, en prenant pour point de départ l'article 8 des prescriptions de l'Institution qui exige des essais à une tension et un courant doubles des conditions de service. Ces essais ont eu pour but de trouver, par l'expérience, les lois qui gouvernent les longueurs d'étincelles de rupture d'un courant continu et de fournir des règles et des formules permettant aux constructeurs de prévoir la façon de se comporter de leurs produits.

Il est d'abord rationnel d'exiger que l'étendue de la rupture soit suffisante pour empêcher l'étincelle de la traverser tout entière, au moment où le circuit est coupé. Il s'agit donc de spécifier ce qu'il faut entendre par cette étendue de rupture et quel sera le coefficient de sécurité à adopter [1].

Les essais ont servi à déterminer les points suivants :

1° *Variation de la longueur d'étincelle avec le courant, à tension constante.* — Les courbes de la figure 1, indiquent clairement les résultats de ces premiers essais ; l'auteur en déduit que, pour les tensions courantes, quand le courant augmente de 50 p. 100, la longueur de l'étincelle de rupture croît de

50	p. 100	pour les courants	de	0	à	5	amp.
40	»	»	»	5	»	10	»
30	»	»	»	10	»	30	»
25	»	»	»	30	»	60	»

2° *Variation à tension variable et courant constant.* — Les courbes des figures 2 et 3 montrent qu'au-dessus de 80 volts, pour une simple rupture et de 160 volts pour une rupture double, la variation est pratiquement linéaire et peut être représentée par l'équation

$$\lambda = a(V - b),$$

[1] L'appareil adopté par l'auteur consiste en une barre de métal, longue de 30 cm, d'une section de 1,8 sur 3 cm, disposée de façon à pouvoir glisser sur deux barres de cuivre de même section et séparées par un intervalle de 10 cm; la barre mobile se déplace en regard d'une échelle et porte un index indiquant la longueur de l'étincelle. Le circuit est fermé sur des résistances non inductives.

[1] L'exploseur est enfermé dans un tube de cuivre R dans lequel les deux fils occupent des positions symétriques. Ce tube de cuivre peut au moyen d'un commutateur, être réuni à l'une des armatures A d'une batterie : l'autre armature et l'une des électrodes sont constamment reliées au sol. L'armature A est reliée soit au pôle positif, soit au pôle négatif d'une machine électrique ; l'autre pôle est au sol.

L'exploseur est réglé de manière que l'étincelle cesse juste d'éclater. Dès qu'on relie le tube R à l'armature A, les étincelles réapparaissent et cessent aussitôt qu'on remet R en communication avec le sol.

Une autre forme de l'expérience consiste à isoler tout le système comprenant l'exploseur, la batterie, la bobine et les piles et à le relier à l'armature interne d'une autre batterie dont l'armature externe est au sol. Quand les pôles de l'exploseur sont écartés de 3,5 mm, l'étincelle de la bobine ne passe plus ; on augmente l'écartement de 0,5 mm. En chargeant négativement le système, on provoque de nouveau les étincelles. Pour obtenir le même résultat avec une charge positive, il faut élever beaucoup plus le potentiel (il correspond à une distance explosive de 7,5 mm, dans le premier cas, de 10,5 mm dans le second).

λ étant la longueur d'étincelle, V, la tension, a, b des constantes ; si λ' est la longueur pour une augmentation de 50 p. 100 du voltage on a

$$\lambda' = a\,(1{,}5\,V - b)$$

et l'accroissement par unité de longueur sera

$$\frac{\lambda' - \lambda}{\lambda} = 0{,}5 + \frac{b}{2\,(V - b)}\ ;$$

ce qui montre que, quand la tension augmente de 50 p. 100, la longueur de l'étincelle augmente de plus de 50 p. 100.

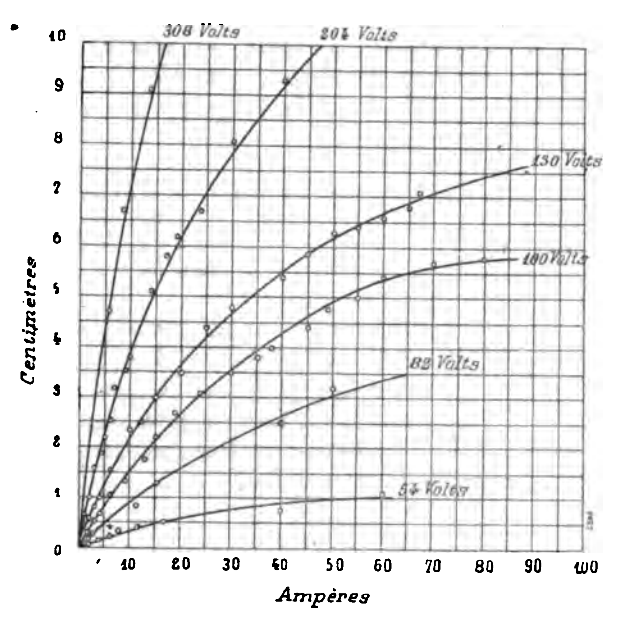


Fig. 1. — Variation de la longueur d'étincelle en fonction de l'intensité, sous tension constante.

3° *Influence de la forme des extrémités.* — L'auteur a trouvé que cette influence est pratiquement insignifiante ; l'accroissement maximum de la longueur d'étincelle n'est que de 10 p. 100 avec des extrémités taillées en pointe effilée.

4° *Influence de la rapidité de la rupture.* — Avec les vitesses courantes dans les interrupteurs, cette influence est nulle ; néanmoins quand la rupture est par trop lente, l'étincelle s'élargit et devient moins longue.

5° *Influence de la multiplicité des ruptures.* — La figure 4 montre comment varie la longueur d'étincelle avec le courant, par des tensions de 300, 200 et 100 volts respectivement et pour deux ruptures dans le circuit. En comparant avec la figure 1, on remarque que l'effet est le même que si la *tension était réduite de moitié.*

De même, on peut admettre que trois ruptures équivalent à une réduction au tiers de la tension

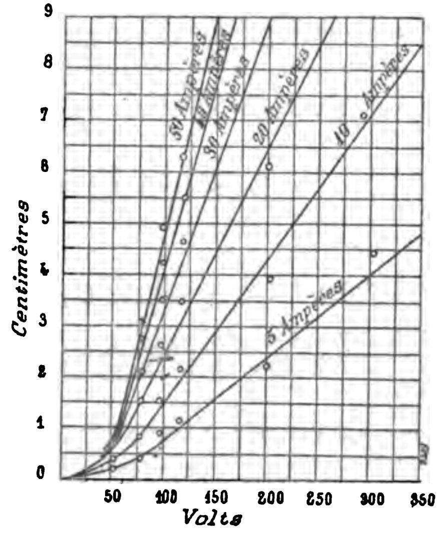


Fig 2. — Variation de la longueur d'étincelle en fonction de la tension, à intensité constante. — Rupture simple.

avec une seule rupture. Si l'on cherche l'effet combiné de la variation à la fois du voltage et du courant, on a des courbes qui se rapprochent

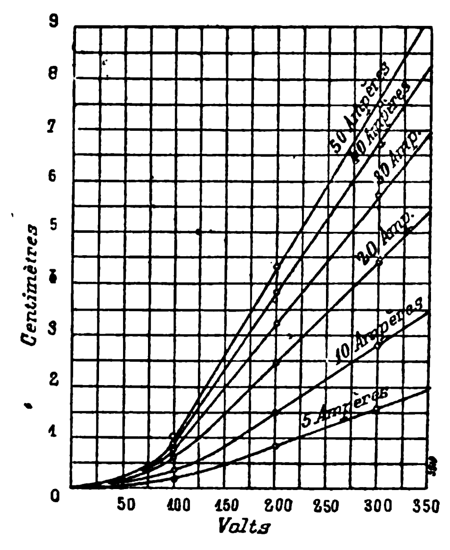


Fig. 3. — Variation de la longueur d'étincelle en fonction de la tension, à intensité constante. — Rupture double.

beaucoup de celles représentées par l'équation, $RI^2 = C^{te}$.

6° *Etablissement d'un arc.* — Dans le tableau suivant, l'auteur indique les relations existant



entre la longueur maxima permettant à un arc permanent de s'établir et la longueur de l'étincelle de rupture dans les mêmes conditions.

	COURANT en ampères.	RUPTURE SIMPLE		RUPTURE DOUBLE	
		Longueur maxima de l'arc permanent en cm.	Longueur d'étincelle en cm.	Longueur maxima de l'arc permanent en cm.	Longueur d'étincelle en cm.
Circuit à 100 volts.	5	0,1	0,8		
	15	0,5	2,2	0,06	0,48
	22	0,8	2,9	0,07	0,6
Circuit à 200 volts.	5	1	2,2	0,4	0,8
	11	1,2	4,2	0,7	1,65
	18	1,5	5,9	0,8	2,5
Circuit à 300 volts.	3,5	1,2	3,4	0,7	1,2
	6	1,4	5,1	1	1,9
	11	1,5	8,0	1,2	3
	21	2,2	11,5	1,4	4,5

Ces chiffres montrent que si les interrupteurs étaient construits avec un intervalle de rupture égal à la longueur d'étincelle correspondant au courant maximum qu'ils ont à rompre, à la tension normale, le coefficient de sécurité serait un peu inférieur à 2 pour les petits appareils et compris entre 3 et 4 pour les grands [1].

L'auteur se propose d'examiner à quels coefficients de sécurité conduit l'application des prescriptions usuelles.

Les règles de l'Institution exigent simplement un essai à la tension et au courant double, sans en spécifier les conditions. On peut d'abord supposer qu'il ne doit pas se produire d'arc, alors, pour un courant de 5 ampères à 200 volts, le coefficient de sécurité est d'environ 2,8; pour un courant de 11 ampères, à 200 volts, il ne serait plus que de 1,9. Si on entend, au contraire, que le courant double ne donne pas lieu à une étincelle s'étendant sur toute la longueur de rupture, on est conduit à des intervalles et des coefficients de sécurité exagérés.

Le « National Board of Fire Underwriters » d'Amérique prescrit un essai au courant double et à une tension plus forte de 25 p. 100, ce qui conduit également à des intervalles impraticables si, dans l'essai, il doit simplement se produire la rupture : il en est de même des règles de la municipalité de Glascow.

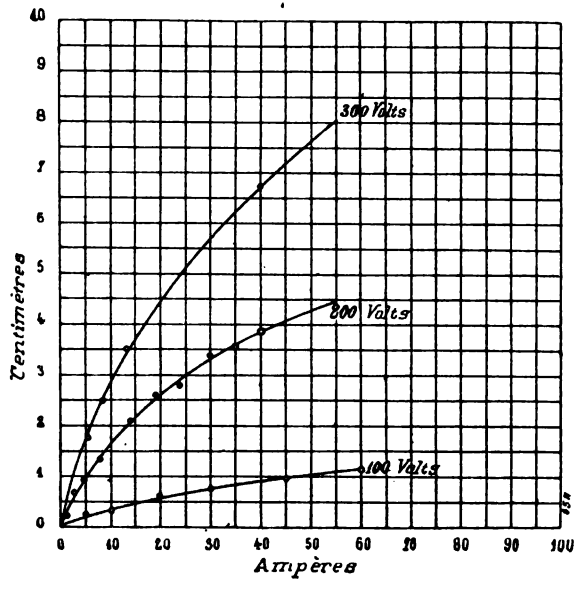


Fig. 4. — Variation de la longueur d'étincelle en fonction de l'intensité, sous tension constante. — Rupture double.

La table suivante indique le coefficient de sécurité correspondant au cas où l'on choisit le courant maximum de telle façon que son étincelle de rupture traverse juste l'intervalle d'air.

	Courant en ampères.	Coefficient de sécurité.
A 100 volts	15	8
	22	8,6
A 200 volts	5	2
	11	2,4
	18	3,1
A 300 volts	3,5	1,7
	6	1,9
	11	2,5
	21	3,2

Aussi pour la tension de 100 volts, les petits interrupteurs bien construits, où l'étincelle traverse la plupart du temps l'intervalle de rupture, sont-ils plus que suffisants.

En ce qui concerne la nature du métal cons-

(1) L'auteur entend par coefficient de sécurité le rapport de la longueur réelle de l'intervalle de rupture à la longueur maximum à laquelle un arc permanent s'établit.

tituant le contact, l'auteur a trouvé que l'acier donne des étincelles plus courtes que le cuivre, et c'est le zinc qui donne les plus courtes ; aucun métal ni aucun alliage ne réduit de plus de 30 p. 100 l'étincelle avec le cuivre.

L'enseignement électrotechnique aux écoles supérieures de Charlottenburg et Darmstadt, par **D. K. Morris**. *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, t. XXXI, p. 1200-1204, numéro de juin 1902.

Cette communication est l'exposé de quelques notes prises au cours de la visite de l'Institution des Électriciens anglais en Allemagne. La durée des études en vue de l'obtention du diplôme est de quatre années ; l'entrée de l'école est subordonnée à un séjour d'au moins six mois dans un atelier. L'âge des étudiants est généralement de deux à trois ans supérieur à celui des élèves-ingénieurs anglais. Les cours sont remarquables par leur étendue, par les connaissances non-techniques exigées à l'entrée, et par les facilités qu'ils procurent aux élèves des deux dernières années pour se spécialiser dans les différentes branches. L'extension qu'ont prise ces écoles exige un personnel de 3 professeurs, 8 professeurs-adjoints et 3 mécaniciens ; et l'enseignement est multiplié de façon à répondre aux besoins de chaque élève ; ainsi, à Darmstadt, outre l'enseignement électrotechnique, on peut suivre des cours d'électrochimie, de mécanique appliquée, d'architecture et de travaux publics. Il y avait, en 1900, plus de 1000 élèves-ingénieurs à l'école de Darmstadt, dont la moitié environ d'électriciens. L'auteur passe en revue l'équipement des salles de machines et de laboratoires, qui ne laisse rien à désirer. Trois grandes salles sont destinées aux mesures électriques, l'une d'elles renferme les grandes machines (jusqu'à 100 chevaux), l'autre pour les petites, et la dernière est une sorte de musée des types les plus divers de tout âge. Les mesures électriques élémentaires s'effectuent dans deux laboratoires séparés ; les mesures plus compliquées, qui n'ont pas trait aux essais de machines, ont lieu dans de petites salles où opèrent cinq ou six élèves à la fois. Toutes les grandes maisons allemandes ont doté ces écoles d'échantillons de leur fabrication qu'elles se font un devoir de renouveler de temps à autre pour tenir l'école au courant de l'actualité.

SECTION DE LONDRES

Transmission à relais automatique pour longs câbles sous-marins, par **S.-G. Brown** (1). *Journal of the Inst. of El. Eng.*, t. XXXI, p. 1060-1085, n° de juin 1902.

Ce système est en usage dans la transmission télégraphique de la « Eastern Telegraph C° », notamment à la station de Gibraltar, pour la communication entre Porthcurnow (Angleterre) et Alexandrie (Egypte).

Actuellement, ces sortes de relais consistent usuellement dans la lecture du télégramme et la retransmission par un employé ; cette méthode est lente, pénible et ne peut s'appliquer qu'en une seule station. La grande difficulté d'un relais automatique réside dans ce fait qu'il est très difficile, avec les forces extrêmement faibles disponibles à l'extrémité d'un câble, d'amener deux pièces métalliques en bon contact, et que, d'autre part, le passage d'un courant dans ce contact produit un collage que les courants transmis peuvent difficilement détruire (2).

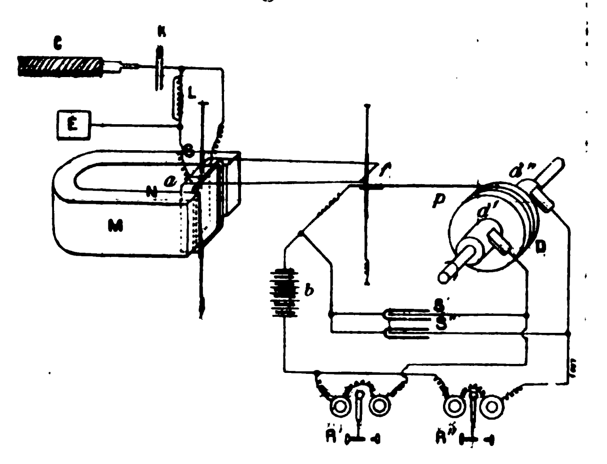


Fig. 1.

La figure 1 représente le principe du « relais

(1) Mémoire présenté à la séance du 1er mai 1902.

(2) L'auteur a découvert, en 1899, que l'on peut effectuer un bon contact en tenant la languette du relais appuyée sur un plateau divisé et que la résistance du frottement dans le sens latéral peut être atténuée et même éliminée en imprimant un déplacement de l'un par rapport à l'autre, au plateau ou à la languette dans le sens de la longueur de cette dernière. On obtient le meilleur résultat en déplaçant la languette du relais sur la surface latérale d'un tambour rotatif, divisé en sections isolées que l'on réunit à des relais du « Post Office » ou autres. Ce système est appelé « relais à tambour ».

à tambour » ; la languette du relais p est fixée sur un petit châssis f attelé par deux fils de quartz à la bobine a. Cette languette est constituée par un tube de verre très fin que traverse un fil de bronze phosphoreux soudé à une pointe de platine iridié qui appuie légèrement sur le tambour D. Le schéma explique suffisamment le fonctionnement de l'appareil. La rotation du tambour D, à raison de 150 tours : minute, réduit considérablement la résistance au frottement de l'aiguille p, qui se déplace ainsi très facilement du plateau isolé médian sur les plateaux d' d'', correspondant à la réception des points et des traits, effectués par les relais R′ R″. Les condensateurs S′ S″ sont placés en dérivation sur les contacts en d' ou d'' de la languette p, et, pour des causes que l'auteur ne peut expliquer, leur présence diminue fortement la résistance de ces contacts.

Le condensateur K sert d'amortisseur aux courants reçus et arrête les courants telluriques ; il a l'inconvénient de se polariser sous l'influence de la succession de signaux de même signe, en produisant ce que l'on appelle « un zéro variable », ce qui rendrait le relais automatique impossible. Pour y obvier, l'auteur emploie une « correction locale » ; c'est-à-dire qu'un courant provenant d'une batterie locale et des relais R′ R″ est envoyé à travers un circuit très amorti, consistant en un condensateur intercalé entre deux fortes résistances. Les relais R′ R″ produisent les mêmes combinaisons de signaux que celles reçues par K : de sorte qu'en même temps que le courant provenant du câble va en s'affaiblissant, le courant de correction croît ; ce dernier passe dans un enroulement distinct de la suspension a, dans la même direction que les signaux, compensant ainsi la perte du courant venant du câble et supprimant les « variations de zéro ».

L est un shunt inductif d'une résistance de 30 ohms, en dérivation sur la bobine a, et destiné à amortir rapidement le mouvement de la bobine. L'auteur préconise ici l'emploi du fer à l'état neutre et formant un circuit magnétique fermé pour obtenir des inductions plus élevées dans le shunt ; il a constaté qu'il n'y a pas, pour les faibles courants usités ici, de magnétisme résiduel, si l'on prend la précaution de compenser l'action de la terre. Il rappelle aussi que la perméabilité du fer a pu être augmentée notablement, en employant une excitation à courants alternatifs qui réduit l'inertie magnétique des molécules.

L'auteur décrit ensuite un instrument qu'il appelle « interpolateur ». Quand un câble est utilisé à la vitesse maxima de transmission, il arrive qu'un grand nombre d'impulsions sont étouffées par l'appareil récepteur chaque fois que des impulsions de même polarité se présentent. Il est donc nécessaire de reproduire, dans le relais automatique, les impulsions du premier appareil transmetteur pour que les signaux reçus au troisième poste soient les mêmes que ceux reçus au relais. L' « interpolateur » accomplit cette fonction, mais ses mouvements, au lieu d'être régis par une bande perforée, le sont par la languette même du relais.

L'auteur décrit aussi un autre appareil appelé « relais amplificateur » qui semble appelé à un certain succès. Dans cet appareil, la bobine a d'un siphon-recorder ordinaire est attachée par deux fils de cocons horizontaux à une autre bobine b placée dans l'entrefer d'un électro-aimant excité par des courants alternatifs.

Les variations du flux qui en résultent induisent dans la bobine b des forces électromotrices proportionnelles à l'angle dont l'a fait dévier la bobine a ; et l'énergie ainsi produite peut être des centaines de fois plus forte que l'énergie reçue dans a ; elle varie exactement comme cette dernière et peut être transmise dans un circuit en série avec la bobine b.

Si, dans ce circuit, on annule l'inductance, le courant induit ne modifiera en rien la période d'oscillation de la bobine, ni la sensibilité de la suspension.

Ce système aurait l'avantage de réduire la puissance des batteries, toutes choses égales d'ailleurs, ou d'augmenter la vitesse de transmission.

Section locale de Manchester

Quelques remarques sur l'équipement des tramways électriques, par **W.-G. Rhodes** (1). *Journal of the Instit. of El. Eng.*, p. 1170-1179, juin 1902.

Dans cette communication, l'auteur s'attache à quelques particularités de l'équipement des

(1) Communication faite à la séance du 18 mars 1902.



voitures électriques et y apporte quelques suggestions de son expérience personnelle.

La première préoccupation de l'ingénieur doit porter sur le choix des dimensions et du type de truck à adopter. Les voitures à simple truck s'emploieront pour les voies à courbes peu accentuées et à rampe de moins de 1 : 20. Pour des voies plus accidentées, à trafic intense, les voitures à deux bogies à roues égales et à quatre moteurs sont tout indiquées [1].

L'auteur passe ensuite en revue les différents types de freins appliqués au tramway, et les divise en freins de service et freins de secours. Il estime que le frein à main est suffisant pour les voies à rampes inférieures à 1 : 10, à condition de munir la voiture d'un frein de secours [2].

L'auteur ne fait pas grand cas du frein électrique. Celui qui consiste à faire fonctionner le moteur comme génératriee sur une résistance, perd toute efficacité si les roues sont bloquées par le frein à main.

Quant au frein à disque, il consiste en un disque fixe en fer, aimanté par le courant du moteur fonctionnant comme génératrice; un autre disque en fer solidaire de l'essieu est attiré contre le premier et réalise le freinage par frottement magnétique et mécanique. Son usure est très rapide et il serait imprudent de l'employer seul.

L'auteur range encore, dans les freins de service, le frein à patins en bois s'appliquant sur les rails et utilisé pour les fortes rampes où on le laisse en fonction sur tout le parcours.

Freins de secours. — La manipulation d'un tel frein doit être simple et facile; il doit s'appliquer sur le rail, attendu qu'il est toujours utilisé en plus du frein sur les roues, qui peut bloquer les roues et diminuer à ce moment l'action des freins. L'action du frein de secours doit être immédiate, mais sans provoquer de choc violent ou des vibrations dans la voiture. L'auteur décrit deux types de freins de ce genre.

Le frein électro-magnétique Westinghouse agit simultanément sur les roues et sur les rails au moyen d'un électro-aimant excité par le courant du moteur fonctionnant comme génératrice. Ce frein a l'inconvénient de manquer d'efficacité aux faibles vitesses, car la force attractive de l'électro-aimant varie comme le carré de l'induction magnétique.

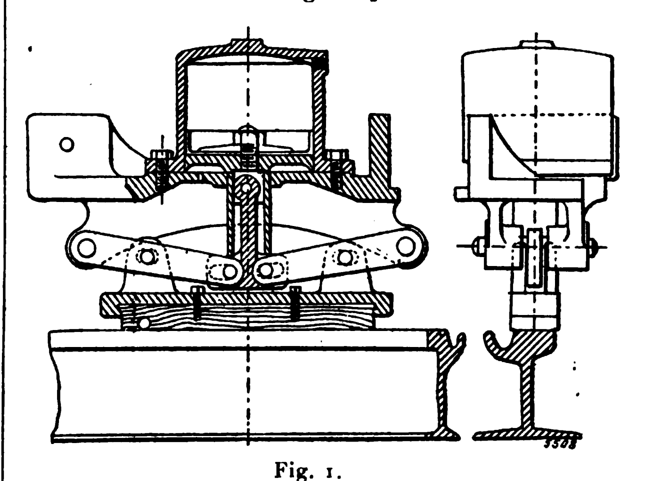


Fig. 1.

L'auteur a imaginé, de concert avec M. Hewitt, un frein pneumatique, appliqué sur les tramways d'Oldham, après s'être rendu compte que les freins mécaniques exigeaient de 10 à 12 secondes pour produire leur plein effet. La figure 1 ci-contre indique la disposition du frein Rhodes et Hewitt à air comprimé. Cet air est produit par un compresseur, dont un manomètre, placé sous les yeux du conducteur, lui indique la pression. Le compresseur est en communication avec un cylindre; le piston de celui-ci porte une tige articulée à deux leviers, dont la rotule est fixée au truc. A ces leviers, sont articulées deux oreilles solidaires du sabot qui s'appliquera sur les rails quand le piston est chassé par l'air comprimé. Chaque voiture, à truck simple ou à bogies, est munie de quatre freins semblables.

Des essais ont montré qu'une voiture de 10 tonnes est arrêtée, au moyen de ce frein, sur un parcours de 16,50 m, en descendant avec une vitesse de 24 km à l'heure, une pente de 1 : 16, sur rails gras.

Si le rail est sec, l'arrêt se produit sur 9 m, et sur 1 m ou 2 m s'il est sablé.

[1] L'auteur donne la formule $b = \sqrt{8rt}$ pour la relation à adopter entre le rayon r de la courbe la plus prononcée, la largeur t de la gorge du rail et la distance b d'axe en axe des roues d'un truck simple, ces diverses longueurs étant exprimées en centimètres. Si la valeur de b obtenue ainsi est inférieure à 1,68 m, le bogie s'impose.

[2] L'auteur rappelle que ce frein pour fonctionner convenablement doit consister en une pression égale et simultanée sur les quatre roues; et le conducteur doit s'assurer, quand il le manipule, si les roues ne sont pas bloquées, en le desserrant à de courts intervalles.



L'auteur aborde ensuite la question de la chute des conducteurs aériens qui, dans la plupart des cas, sont arrachés par la perche du trolley aux croisements et aux aiguillages. L'auteur recommande l'emploi du trolley, imaginé

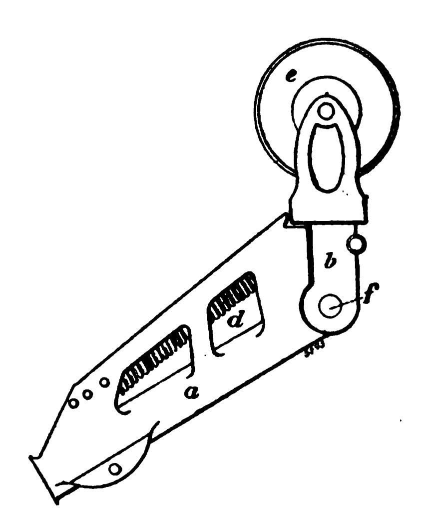


Fig. 2.

par M. Wilkinson, directeur des tramways d'Oldham, pour prévenir ce genre d'accidents. La figure 2 en indique la disposition [1].

En ce qui concerne la caisse de la voiture elle-même, l'auteur rappelle que la somme des moments des forces appliquées à la voiture est égale à $mk^2 \frac{dv}{dt}$, où m représente la masse totale, v la vitesse angulaire dans une courbe, k le rayon de giration. Toutes choses égales d'ailleurs, la somme des moments des forces est proportionnelle au rayon de giration, et, par suite, aussi tous les efforts et tensions intérieurs. Il est donc essentiel pour réduire les efforts internes, de choisir le rayon de giration de la voiture autour de son axe aussi faible que possible. Dans les voitures à impériales, les passagers qui se tiennent debout sont donc exposés aux chutes, et les jointures aux extrémités de la voiture doivent être extrêmement solides.

P.-L. Charpentier.

(1) La perche du trolley est engagée dans la douille a; la roulette est montée sur le châssis b articulé en f, et retenu par le ressort d.

Production d'énergie électrique par la combustion des ordures. Le destructeur d'ordures actuel, par **Francis Goodrich**. *Electrician*, t. L, p. 220-224, 28 novembre 1902.

Le peu d'efficacité des destructeurs d'ordures d'ancien modèle, en tant que producteurs d'énergie, était dû à la marche trop lente de la combustion, entretenue seulement par le tirage naturel. La température des gaz qui venaient en contact avec la chaudière, ne dépassait jamais 425° C. et tombait souvent jusqu'à 300°. Dans les destructeurs modernes, les gaz pénètrent dans la chaudière à la température de 1 100° C. et même davantage, et, dans une installation bien dirigée, la température minima peut être maintenue à 850° C. Une température constamment élevée est essentielle pour assurer une vaporisation régulière et, lorsqu'on établit un destructeur destiné à être annexé à une usine électrique, c'est ce point capital qu'on doit avoir en vue.

Dans le modèle de destructeur construit par Beaman et Deas, les foyers sont établis par paires ; l'un d'eux est toujours en pleine activité pendant qu'on nettoie et recharge le foyer voisin; la chambre de combustion est commune aux deux foyers. On a cherché à compenser par cette disposition l'écart des températures de deux foyers voisins dont on recharge l'un pendant que l'autre est en pleine marche, écart qui peut atteindre 5 à 600° C. Mieux vaut cependant s'assurer une température constamment élevée dans le foyer lui-même. C'est ce qu'on fait dans le système Meldrum, qui consiste à employer une grille continue avec des cendriers séparés. Le foyer aura par exemple 8 m² de surface de grille, avec un cendrier pour chaque surface de 2 m². On ne décrasse et ne recharge qu'un quart de la grille à la fois, de sorte que les trois quarts du foyer sont toujours en pleine marche. En outre il ne se dégage jamais un grand volume de gaz froids, car le chargement se fait à la pelle, par petites quantités. Dans ces conditions, la chambre de combustion est constamment maintenue à une température élevée.

Le système de régénération par lequel on fournit de l'air chaud au foyer, est très avantageux pour concourir au même but. Non seulement l'air chaud améliore le rendement calorifique, mais il favorise la rapidité de l'allumage et la constance de la température. Par les temps pluvieux, alors que les ordures sont fortement

chargées d'humidité, l'emploi de l'air chaud a un avantage évident, surtout dans les usines électriques, car une atmosphère pluvieuse accroît le besoin de lumière. Avec le régénérateur breveté Meldrum, l'air est chauffé à une température moyenne de 180° C.

L'emploi d'un régénérateur d'air chaud n'empêche pas d'installer un économiseur; les deux réunis donneront un excellent rendement. On a dit qu'une incinération complète est incompatible avec un rendement élevé d'énergie. L'auteur n'est pas de cet avis. Il est vrai que si la chaudière était placée dans les meilleures conditions possibles pour absorber la chaleur, le destructeur fonctionnerait mal en tant que destructeur, mais il est vrai aussi que le destructeur qui remplit le mieux sa fonction propre est celui où les produits de la combustion sont placés immédiatement dans un milieu à température élevée et y restent assez longtemps pour qu'une incinération parfaite ait lieu. On produit ainsi un grand volume de gaz à température élevée qui passent à la chaudière, et la constance d'une haute température, précieuse au point de vue hygiénique, rend aussi l'appareil apte à la production de l'énergie.

Les chargeurs mécaniques ne sont pas à recommander, car ils ne permettent pas de satisfaire à la condition capitale qu'on vient de rappeler. L'auteur a observé le fonctionnement d'un appareil de chargement mécanique, le plus rapide probablement qu'on ait encore imaginé, qui permet de faire basculer 1 500 à 2 200 kg d'ordures directement du tombereau dans le foyer. Mais la promptitude de cette opération n'empêche pas que le décrassage de la grille et l'égalisation de la couche de combustible durent de vingt à vingt-cinq minutes; pendant ce temps, le foyer se refroidit. En un mot, il faut, comme pour le charbon, charger souvent et peu à la fois. La manutention mécanique augmente d'ailleurs de 30 à 50 p. 100 le prix de la main d'œuvre par tonne de combustible brûlé.

Sur 160 villes de Grande-Bretagne ayant jusqu'ici installé un destructeur, 45 l'ont annexé à l'usine électrique, 26 à l'installation des pompes d'égout. L'auteur fournit des résultats d'essais que nous reproduisons en note (1).

Il est naturellement plus économique de répartir l'incinération des ordures sur les vingt-quatre heures de la journée que sur la période relativement courte de la demande de lumière. Cependant cette dernière méthode est aujourd'hui en faveur, quoiqu'elle nécessite une installation beaucoup plus grande et d'autant plus coûteuse.

Une installation mixte pour la destruction des ordures et la production d'énergie électrique aurait grand avantage à fournir le courant pour l'éclairage des rues et la charge des accumulateurs, et, pendant le jour, pour la force motrice et la traction. Mais il faut s'arranger des conditions imposées par les circonstances et considérer les limites que ne peut franchir le destructeur. La quantité d'ordures disponible dans une ville est bornée à un certain nombre de tonnes par jour, et cette quantité ne s'accroît évidemment pas avec les demandes des nouveaux consommateurs d'énergie. On a observé bien des cas où, pendant un certain temps, toute l'énergie nécessaire a pu être obtenue par la combustion

---

(1) Les chiffres suivants ont trait à l'installation de la ville de Nelson, où fonctionne un destructeur Meldrum annexé à l'usine électrique :

Durée de l'essai.	473,5	heures
Ordures brûlées par heure.	1305	kg.
Ordures brûlées par m² de grille et par heure	118	»
Eau vaporisée par heure à partir de 100°.	2420	»
Eau vaporisée par kg d'ordures à partir de 100°.	1,85	»
Eau vaporisée par m² de surface de chauffe et par heure à partir de 100°.	22	»
Proportion moyenne de CO^2	13,16	p. 100
Température moyenne de la chambre de combustion	1070° C.	
Proportion de machefer	30,20	p. 100

Les chiffres suivants se rapportent à l'installation de Lancaster. L'auteur signale la forte proportion d'acide carbonique et la haute température moyenne du courant d'air qui alimente le foyer.

Durée de l'essai.	12 h. 26 m.	
Surface de la grille	11,1 m²	
Type et dimensions de la chaudière Lancashire.	9 m sur 2,4 m	
Eau vaporisée par heure à partir de 100°.	4420 kg.	
Eau vaporisée par kg d'ordures à partir de 100°	1,63	»
Proportion moyenne de CO^2	15,5	p. 100
Température moyenne de la chambre de combustion . . . . au-dessus de	1100° C.	
Température moyenne de l'air chaud venant du régénérateur	250° C.	

des ordures, mais cela ne peut durer et l'on arrive ainsi à la conclusion que le destructeur d'ordures ne doit être qu'une annexe très utile de l'usine génératrice d'électricité. Dans la grande installation mixte d'Ipswich, le professeur Kennedy veut employer un destructeur Meldrum à fournir de la vapeur à une machine séparée, qu'il sera seul à alimenter; ce sera une excellente occasion de déterminer l'appoint réel que la combustion des ordures apporte à l'usine génératrice.

Dans une installation mixte, il faut que la disposition générale des bâtiments soit telle que la poussière ne puisse se répandre dans la salle des machines. La manutention mécanique dégage plus de poussières que le travail à la main. Il est difficile, même dans les meilleures conditions, d'entretenir le bâtiment du destructeur en état de propreté; il est donc nécessaire de l'isoler de l'usine génératrice.

En ce qui concerne la chaudière, c'est le modèle Lancashire qui doit être préféré. Il donne d'excellents résultats, comme le montre la comparaison suivante. Dans huit villes de Lancashire, dont quatre emploient la chaudière Lancashire et quatre des chaudières à tubes d'eau, la puissance moyenne obtenue par tonne d'ordures brulée s'établit ainsi :

Chaudières Lancashire, 186,6 chevaux indiqués par heure et par tonne d'ordures brûlée.

Chaudières Lancashire, à tubes d'eau, 143,8 chevaux indiqués par heure et par tonne d'ordures brûlée.

P. Labrouste

BRITISH ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE

Congrès de Belfast [1]

10-17 septembre 1902

Note préliminaire sur la théorie des moteurs à gaz, par **H. E. Wimperis**. *Electrician*, t. L, p. 27, 24 octobre 1902.

Les résultats obtenus par la Commission d'Etude des moteurs à gaz, de l'Institution of Mechanical Engineers, ont attiré l'attention sur le rôle important qu'on devra désormais attribuer à la variabilité de la chaleur spécifique des gaz, quand on considère les relations thermodynamiques des mélanges gazeux.

L'auteur a eu l'idée d'appliquer cette hypothèse de la chaleur spécifique variable aux expériences classiques faites il y a bien des années par M. Dugald-Clerk. Ces expériences consistaient à relever les diagrammes d'explosions éclatant dans les mélanges d'air et de gaz de ville pris à Glasgow et à Oldham. L'indicateur enregistrait la pression p sur un tambour tournant à une vitesse connue ; on obtenait ainsi des courbes donnant la relation entre la pression p et le temps t pendant l'explosion initiale et le refroidissement consécutif du gaz par les parois du cylindre.

Pour appliquer l'hypothèse de la chaleur spécifique variable aux résultats obtenus par Dugald Clerk, il faut choisir la valeur numérique des constantes linéaires qu'on adoptera dans la chaleur spécifique. On détermine ces constantes d'après celles données par MM. Mallard et Le Chatelier [1].

La question est celle-ci : le calcul basé sur la constance de la chaleur spécifique indique une température environ deux fois plus grande que celle qui est réellement atteinte et l'on veut savoir ce que devient la chaleur disparue. M. Dugald Clerk mentionne trois explications possibles : refroidissement excessif, dissociation, changement de la chaleur spécifique. On trouvera dans ses ouvrages la discussion relative à ce sujet.

L'auteur propose l'explication suivante. Si l'on calcule la température théorique d'explosion d'après les résultats obtenus par MM. Mallard et Le Chatelier, la chaleur manquante n'est plus que 10 ou 15 p. 100 de celle qui se dégage (au lieu de 50 p. 100). Si en outre on tient compte du refroidissement pendant l'explosion, tout le déficit peut s'expliquer. C'est ce que prouve la table reproduite plus loin. Pour l'évaluation du refroidissement on recourt à l'hypothèse suivante : la relation entre la pression p et la pression t est fournie par les courbes de l'indicateur ; il est donc possible de calculer qu'elle aurait été la perte d'énergie calorique à la température maxima réellement atteinte dans l'explosion. Cette perte est naturellement plus grande que la perte moyenne depuis le commencement de l'explosion, puisqu'au début le

(1) Voir *Écl. Élect.*, t. XXXIII, p. 276, 22 nov. 1902.p. 1780.

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1887,



gaz était sensiblement à la température ambiante. La valeur de cette perte passant de zéro à un maximum bien défini, on peut, pour l'intervalle très court de l'explosion, prendre comme moyenne la moitié du maximum.

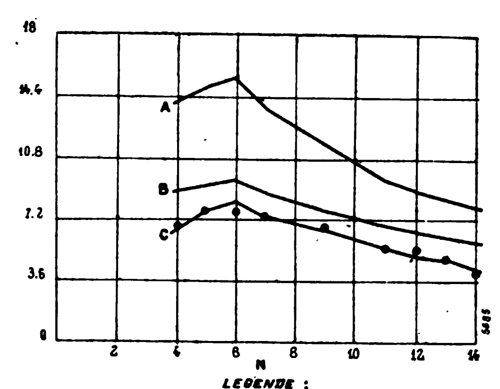
La divergence à expliquer étant énorme (50 p. 100 de l'énergie totale), de faibles différences dans les constantes adoptées seraient naturellement de peu d'importance. L'auteur a donc adopté celles données pour le gaz d'éclairage par l'Institution of Mechanical Engineers. Il a négligé le changement de volume, d'ailleurs très faible, qui résulte de la combinaison chimique.

EXPÉRIENCE	PROPORTION DE LA QUANTITÉ d'air à la quantité de gaz.	PRESSION ABSOLUE MAXIMA ATTEINTE, EN KG : CM²			
		Dans l'hypothèse de la chaleur spécifique constante.	Dans l'hypothèse de la chaleur spécifique variable.	Dans l'hypothèse de la chaleur spécifique variable, en tenant compte du refroidissement.	Mesurée expérimentalement par Dugald Clerk.
1	14	7,9	6	4,3	3,96
2	13	8,35	6,2	4,75	4,8
3	12	8,85	6,5	5,05	5,4
4	11	9,5	6,85	5,45	5,45
5	9	11,6	7,7	6,55	6,7
6	7	13,7	8,7	7,5	7,35
7	6	15,4	9,45	8,3	7,55
8	5	14,9	9,15	7,85	7,65
9	4	14,1	8,85	6,7	6,85

La table ci-dessus donne les valeurs de la pression observées par Dugald Clerk et celles obtenues par le calcul d'abord dans l'hypothèse de la chaleur spécifique constante, ensuite dans l'hypothèse de la chaleur spécifique variable et enfin dans cette même hypothèse avec la correction du refroidissement faite comme il est dit plus haut. La concordance entre les chiffres de cette dernière colonne et ceux des résultats expérimentaux de Dugald Clerk est frappante.

La figure 1 représente graphiquement les mêmes résultats.

On pourra donc tirer de ces résultats expérimentaux une expression permettant d'évaluer le refroidissement des mélanges gazeux renfermés dans des cylindres métalliques de dimensions données. Néanmoins, il n'est pas facile d'appliquer ces résultats au cas des moteurs à gaz ordinaires, d'abord parce que la relation entre la perte de chaleur et les dimensions du cylindre est très compliquée, ensuite parce que, dans le cylindre du moteur à gaz ordinaire, la



LEGENDE :
Courbe A. — Pression maxima dans l'hypothèse de la chaleur spécifique constante.
Courbe B. — Pression maxima dans l'hypothèse de la chaleur spécifique variable.
Courbe C. — Pression maxima avec la correction du refroidissement.
Les points marqués • sont les valeurs obtenues par M. DUGALD CLERK.
N. est le rapport des quantités d'air à celles du gaz.

Fig. 1.

la température des parois du cylindre et celle du piston sont très différentes, comme l'a montré l'auteur, et il y a des cas où le gaz est réchauffé par le piston et en même temps refroidi par le cylindre, condition très différente de celles des expériences relatées. Il y a là un vaste champ ouvert aux recherches. P. L.

Récents progrès des grands moteurs à gaz, par **Herbert A. Humphrey**. *Electrician*, t. XLIX, p. 979, 1019; t. L, p. 48 et 92, 10, 17 et 31 octobre et 7 novembre 1902.

Les progrès accomplis par les grands moteurs à gaz au cours des quelques dernières années ont peu de précédents dans l'histoire industrielle. A l'Exposition de Paris en 1900, on s'étonna beaucoup du moteur à gaz Cockerill de 600 chevaux, mais la même maison en construit aujourd'hui un de 2 500 chevaux. Les deux principales firmes anglaises, Crossley Bros de Manchester et la Compagnie Premier de Sandiacre, ont livré ou construisent à cette date (août 1902) 51 moteurs à gaz dont la puissance varie de 200 à 1 000 chevaux. Laissant de

côté, comme on le fera dans tout le cours de cette communication, les moteurs d'une puissance au-dessous de 200 chevaux, on constate que Körting Bros et leurs concessionnaires ont livré ou construisent 32 moteurs d'une puissance totale de 44 500 chevaux, soit 1 390 chevaux en moyenne par moteur. Viennent ensuite la Société John Cockerill, la Gasmotoren Fabrik Deutz, etc. Le nombre total de moteurs construits est de 327, donnant ensemble 181 000 chevaux. L'Amérique, sous ce rapport, est en retard sur l'Europe, mais plusieurs compagnies puissantes y ont récemment entrepris la construction des grands moteurs à gaz et ne tarderont pas à conquérir une place importante dans cette industrie.

L'auteur donne alors quelques renseignements illustrés de dessins et de photographies sur les moteurs Crossley, Premier et Simplex [1] et passe aux moteurs Körting. La construction de cette machine à double effet présentant un intérêt particulier, il en donne une courte description. Le moteur (fig. 1) est à un seul cylindre, parallèlement auquel sont placés deux corps de pompe dont l'un fournit l'air et l'autre

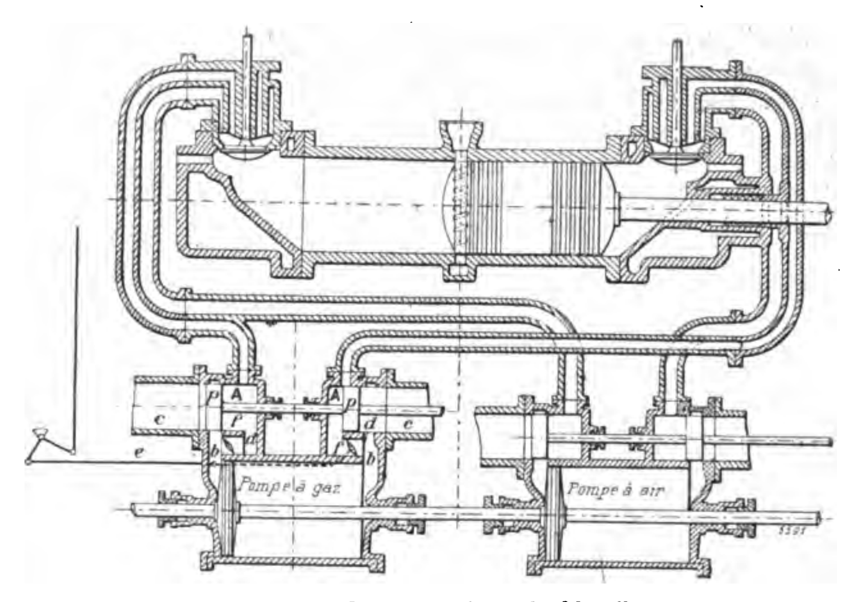


Fig. 1. — Moteur Körting à double effet.

le gaz. La longueur du piston est à peu près moitié de celle du cylindre et la lumière d'évacuation est au milieu de ce dernier ; elle est découverte quand le piston est à l'une ou l'autre extrémité de sa course. Après l'évacuation, la pompe à air envoie une chasse d'air qui expulse les gaz brûlés et il entre alors un mélange d'air et de gaz. Ce mélange traverse un diaphragme qui lui imprime un mouvement rotatif : il reste, assure-t-on, à l'extrémité arrière du cylindre, l'air pur se trouvant en avant du piston. A la course de retour, le piston ferme la lumière d'évacuation et la compression a lieu ; on enflamme alors le mélange. On utilise les deux côtés du piston, ce qui donne deux impulsions par révolution ; l'effort sur la manivelle est ainsi presque aussi constant que dans une machine à vapeur à double effet. Le moteur ressemble d'ailleurs sous certains rapports à une machine à vapeur. La vitesse peut se régler simplement en ouvrant ou fermant la valve d'admission du gaz.

La table ci-dessous permet de faire la comparaison entre différents types de moteurs. Elle montre l'avantage du moteur Körting sur les moteurs fonctionnant d'après le cycle Otto. On a comparé trois moteurs de même puissance à peu près sous le rapport de la dimension des cylindres, de la course, du poids et de la variation périodique de vitesse.

[1] Le moteur ordinaire Crossley de 500 chevaux est une machine à deux cylindres parallèles, dont les deux bielles sont reliées à la même manivelle. On applique le cycle Otto et les explosions se succèdent à intervalles inégaux, deux éclatant pendant une révolution et aucune

TYPE DE MOTEUR	NOMBRE de cylindres.	DIAMÈTRE des cylindres.	COURSE.	PUISSANCE maxima.	POIDS SANS LE volant, en kg	POIDS AVEC le volant, en kg	TOURS par minute.	VARIATIONS périodiques.
		mm	mm					
Moteur Cockerill.. à 1 cylindre. — Cycle Otto	1	1 300	400	600	94 000	127 000	90	1 : 30
Moteur Deutz à 4 cylindres. — Cycle Otto	4	660	850	600	88 000	100 000	150	1 : 130
Moteur Korting à 1 cylindre. — Double effet	1	635	1 100	550	58 000	70 000	100	1 : 80

Après quelques moteurs les moteurs Deutz, Oechelhäuser et Westinghouse, l'auteur considère d'une façon générale les perfectionnements apportés à la construction des moteurs à gaz. On doit noter d'abord la tendance à donner une grande rigidité à toutes leurs parties, tendance surtout visible dans les fortes brides qui réunissent entre eux les cylindres des moteurs en tandem. La Compagnie Premier a donné l'exemple du refroidissement du piston et des soupapes par circulation d'eau et tous les constructeurs de grands moteurs imitent aujourd'hui ce procédé, qui accroît la pression effective moyenne pendant la course motrice. Le fond du cylindre, auquel les soupapes donnent une forme irrégulière et qui supporte les changements maxima de température et de pression, amenait autrefois des difficultés qu'on est parvenu à supprimer en simplifiant sa forme autant que possible et en prenant les mesures nécessaires pour son refroidissement. Les soupapes des moteurs actuels appartiennent presque toutes au même type, le type en champignon (mushroom) et sont actionnées par cames. La soupape d'évacuation, qui a la fonction la plus difficile, a été l'objet d'ingénieux perfectionnements, mais la plupart des constructeurs préfèrent employer la soupape en champignon sous sa forme simple en donnant au mécanisme de commande la résistance nécessaire. En général, les soupapes s'ouvrent mécaniquement et se ferment sous l'action de ressorts, mais la fermeture mécanique, comme celle de la nouvelle soupape Premier, a des avantages particuliers. L'allumage se fait par étincelle électrique ; les tubes à incandescence ont disparu partout sauf en Angleterre. La grande régularité de vitesse exigée aujourd'hui a conduit à des procédés de réglage perfectionnés. Le meilleur est celui de M. E. Sargeant, qui a inventé un moyen d'interrompre l'admission du mélange détonnant en différents points de la course d'aspiration. Cette méthode, qui donne le résultat désiré sans perte de puissance, a été adoptée par les principaux constructeurs. La mise en marche des moteurs, même des plus puissants, se fait aujourd'hui à l'air comprimé : ce procédé est sûr, commode et rapide.

D'après cet exposé, on peut voir la direction générale des progrès qui transforment aujourd'hui ces machines. Le moteur à gaz de l'avenir sera à double effet et, pour obtenir une grande régularité de marche ou une grande puissance,

pendant la suivante. Des sept moteurs de cette puissance qui ont été construits, quatre fonctionnent au gaz Mond, deux aux gaz Dowson, un au gaz des hauts-fourneaux. Le dernier modèle de cette maison est un moteur vertical à deux cylindres inclinés, il est spécialement adapté à la conduite des dynamos. Une projection le représente actionnant par l'intermédiaire d'un couplage Raffard une dynamo à courant continu à 275 t : m. — Une autre projection représentait un moteur Premier de 650 chevaux, à deux cylindres en tandem, avec chasse d'air pour expulser les gaz brûlés. Le cylindre d'avant présente un élargissement dans lequel un piston auxiliaire comprime l'air nécessaire à la combustion et au balayage. Le moteur marche à 125 t : m. Dans le nouveau modèle Premier de 500 chevaux, le balayage d'air s'effectue au moyen d'un cylindre séparé, dont le piston est conduit par une tige articulée à la bielle principale. Quand on place deux moteurs côte à côte pour réaliser un groupe de 1 000 chevaux, le même arbre à cames sert pour les deux. Un autre dessin représente un moteur Premier de 2 000 chevaux, à quatre cylindres par deux en tandem.— Les moteurs Simplex, que l'article signale ensuite, furent les premiers à développer 300 chevaux par cylindre. Depuis qu'ils sont passés entre les mains de la Société Cockerill, ils ont fait de rapides progrès : on obtient maintenant 1 250 chevaux par cylindre. La Société construit en ce moment un moteur de 2 500 chevaux à deux cylindres en tandem. Une table indique les principales constantes de ces moteurs alimentés par du gaz des hauts-fourneaux.



polycylindrique. Le démarrage se fera à l'air comprimé et l'allure sera réglée par la fermeture de la soupape d'admission selon la puissance nécessaire. On obtiendra des résultats plus parfaits encore si l'on maintient constant le degré de compression pour les quantités variables de mélanges gazeux introduites dans le cylindre. Letombe, par son système de surcompression, a pu réaliser l'équivalent de ce desideratum. On emploiera un double allumage électrique et le moment d'allumage sera fixé par le régulateur selon la quantité de mélange gazeux. La construction en tandem ou en double tandem est généralement préférée, mais le double vis-à-vis peut aussi donner d'excellents résultats. Pendant quelques années encore, on emploiera les moteurs horizontaux, moins coûteux et plus faciles à construire, mais le type vertical viendra dans quelque temps au premier plan, du moins pour les stations centrales. Si enfin l'on pouvait vaincre les graves difficultés qui entourent aujourd'hui la turbine à gaz, il n'y aurait guère de machine motrice qui pût rivaliser avec elle.

L'auteur cite en passant les travaux de M. J. Petavel et du professeur Burstall, sur la théorie des moteurs à gaz, puis traite l'emploi de ces moteurs dans les stations centrales. Cette question occupe le reste de la communication.

Depuis longtemps on applique les moteurs à gaz de moyenne puissance à la conduite des dynamos, surtout par courroies. Cette méthode est encore bonne pour les petites installations; l'usine génératrice de Giessen en fournit un exemple. Un moteur de 300 chevaux et deux de 160, alimentés au gaz de gazogène, actionnent par courroie des dynamos à courant continu. La commande par courroie est cependant l'exception : on adopte presque exclusivement aujourd'hui le couplage direct. Ce système, au début, avait contre lui quelques préjugés : des constructeurs de dynamos prétendaient que les chocs des explosions endommageraient l'armature. L'expérience a fait justice de ces critiques; l'auteur cite entre autres des groupes électrogènes composés d'un moteur à gaz et d'une dynamo de 225 kilowatts, qu'il a mis en service et observés dans une usine génératrice : les collecteurs et les balais, après un fonctionnement de longue durée, étaient en parfait état. Il cite aussi, parmi les usines génératrices ainsi équipées, celles de Münster et de Bâle, où l'on emploie les moteurs Deutz.

Si les ingénieurs électriciens sont bien convaincus aujourd'hui qu'on peut avec succès actionner les dynamos à courant continu par des moteurs à gaz. Ils sont d'opinions différentes sur la commande des alternateurs qui doivent fonctionner en parallèle. Un bon nombre d'entre eux restent sceptiques sur ce point, aussi est-il utile de mettre sous leurs yeux quelques exemples. A la fabrique de poterie d'Embrach, trois moteurs à gaz de 100 chevaux actionnent par courroies des alternateurs triphasés; la variation périodique des moteurs est $\frac{1}{60}$; on la réduit à $\frac{1}{80}$ en adaptant de petits volants aux alternateurs. Cette valeur est encore assez élevée, mais néanmoins la marche en parallèle est satisfaisante. La maison Deutz a installé à l'usine Fridenshütte, près de Morgenroth, deux moteurs de 300 chevaux et deux de 200, couplés à des alternateurs triphasés; la variation périodique de vitesse est $\frac{1}{160}$, valeur qui a été reconnue suffisante pour le fonctionnement en parallèle. Ce fonctionnement réussit également bien aux usines Hörder Bergwerks, avec deux moteurs Deutz de 1 000 chevaux, à Düdelingen (Luxembourg), aux aciéries de Kladus (Bohême), avec un moteur Cockerill de 600 chevaux (vitesse 150 *t : m*, fréquence 25 périodes, variation périodique de vitesse $\frac{1}{200}$) qui actionne un alternateur couplé en parallèle avec des alternateurs à vapeur. Mêmes résultats avec les moteurs Körting et Westinghouse, pour lesquels l'auteur cite les exemples de la Julienhütte Station (trois moteurs Körting de 300 chevaux), de la Great Southern Company à Buenos-Ayres (six moteurs Westinghouse de 250 chevaux, alimentés au gaz Mond), etc.

Après quelques considérations générales, que nous résumons en note (¹) sur l'aptitude des

(¹) La variation périodique de vitesse de la machine motrice doit être maintenue dans certaines limites, qui dépendent de la construction de la dynamo et de la nature de la charge. Les facteurs les plus importants sont la self-induction et le courant de court-circuit de l'alternateur, la vitesse et le nombre des pôles. Dans tous les cas pratiques, un moteur à gaz polycylindrique bien éta-

moteurs à gaz à conduire des alternateurs couplés en parallèle, l'auteur conclut en ces termes :

Les remarquables progrès réalisés récemment par les moteurs à gaz se continueront sans doute jusqu'à ce que, selon la prédiction faite en 1881 devant la British Association par Sir Frederick Bramwell, les machines à vapeur soient reléguées dans les musées. On peut déjà citer un cas où des machines à vapeur d'un excellent modèle et depuis trois ans à peine en service vont être supprimées pour faire place à des moteurs à gaz, d'une puissance totale de 6000 chevaux (transmission d'énergie par courants triphasés entre Ilseder Hütte et les laminoirs de Peine, à 8 km de distance). La municipalité de Glasgow a l'intention d'ajouter un moteur à gaz de 3000 chevaux à son installation à vapeur et on lui a offert un moteur Körting à deux cylindres. Ceci montre que la question des grands moteurs à gaz commence à préoccuper les ingénieurs de stations centrales. Le remplacement des chaudières et des machines à vapeur par des gazogènes et des moteurs à gaz, qui s'accompagnera d'une économie de charbon de plus de 50 p. 100, doit inévitablement s'effectuer. De plus, par le procédé Mond, la gazéification d'une tonne de charbon fournit 40 kg de sulfate d'ammoniaque, d'une valeur de 10 francs. L'auteur a déjà obtenu dans un grand moteur à gaz un rendement thermique de 34 p. 100 avec du gaz de gazogène et il est probable que dans un temps assez court on atteindra le chiffre de 40 p. 100. Le moteur à gaz de grande puissance est *le moteur* du siècle.

P. L.

bli donnera complète satisfaction. En général, la variation périodique de vitesse doit être environ de 1/200. Dans les conditions de charge les plus défavorables, la valeur 1/400 suffit avec des alternateurs bien établis; or il existe déjà des moteurs à gaz dont la variation de vitesse n'est que de 1/350, et cela avec des volants de poids faible; les constructeurs sont prêts à resserrer encore ces limites. Il faut noter que l'augmentation au-delà d'un certain point du moment d'inertie des parties en rotation amène dans la marche en parallèle, des mouvements pendulaires nuisibles et parfois des effets de résonance. Le volant est donc la dernière ressource à employer pour réduire la variation périodique de vitesse; il vaut mieux chercher à obtenir un effort de manivelle uniforme en accroissant le nombre d'impulsions par tour et en équilibrant les parties en mouvement alternatif. Le constructeur de dynamos peut aussi beaucoup dans le but : des pôles pleins, au lieu des pôles feuilletés ordinaires, faciliteront la marche en parallèle; on obtiendra de meilleurs résultats encore par une bague en cuivre réunissant les pôles, où se développeront des courants amortisseurs en cas de variation de la vitesse. Une cage d'écureuil logée dans les pièces polaires aurait en outre l'avantage d'empêcher un accident grave, au cas où l'allumage cesserait de fonctionner; l'alternateur marcherait alors en moteur asynchrone. — Pour les moteurs à gaz destinés aux alternateurs couplés en parallèle, les régulateurs doivent avoir les mêmes courbes caractéristiques et le même degré de stabilité. L'écart de vitesse entre la marche à vide et la marche à pleine charge doit être faible : jamais plus de 3 p. 100.

Sur l'utilisation spécifique des matériaux dans la construction des machines dynamo-électriques, par **S.-P. Thompson**. *Electrician*, t. XLIX, p. 879, 19 septembre 1902.

La comparaison des dynamos établies par différents constructeurs met en relief des différences considérables relativement à l'utilisation spécifique des matériaux employés dans leur construction, même lorsque ces machines sont du même type, de la même puissance, et construites pour fonctionner dans des conditions analogues.

L'un adoptera une induction magnétique très élevée, l'autre une grande densité de courant dans l'induit, un troisième choisira un isolant qui lui permette de loger la plus grande quantité possible de cuivre dans les encoches, etc. Bien que des machines de même type et de même puissance aient le même rendement, les pertes seront différemment distribuées, une machine perdant plus dans le cuivre et l'autre dans le fer.

Nous ne considérons ici que l'utilisation spécifique des matériaux dans l'induit, car l'induit utilisant le mieux la matière sera celui qui, pour une puissance donnée, présentera les plus petites dimensions, et pour lequel, par conséquent, il faudra les inducteurs les plus petits.

Dans une communication faite par M. Mavor à l'*International Engineering Congress* tenu à Glasgow en 1901, M. Mavor a introduit dans l'étude des dynamos l'idée de la *zone active*, comprenant sous ce terme la masse entière de la structure périphérique de l'induit formant une couronne cylindrique limitée par la hauteur des dents, et composée de fer, de cuivre et de matière isolante. C'est dans cette couronne active que se développe la force électromotrice, et que s'exercent les forces mécaniques entre le champ inducteur et l'induit.

M. Mavor étudie la puissance dépensée dans cette zone active et, pour obtenir des chiffres permettant de faire une comparaison entre les différentes machines, il établit une relation entre la puissance utile de chaque machine et le volume de la couronne active, non pas dans les conditions ordinaires d'emploi, mais en ramenant toutes les machines à la même valeur de l'induction magnétique et à la même vitesse périphérique de l'induit.

M. Mavor détermine ainsi la *puissance volumique*, en ergs par seconde et par centimètre cube, pour différentes machines, pour une intensité de champ égale à 1 gauss, et une vitesse périphérique de 1 cm par seconde. Cette puissance volumique, bien que variant d'une dynamo à l'autre, est d'environ 5 ergs par seconde et par centimètre cube. Le chiffre indiqué par M. Mavor revient à donner la densité de courant qui traverse l'induit, densité déterminée par le rapport du courant total dans l'enroulement par la section transversale brute totale de la zone active, soit, toutes réductions faites, 50 ampères par centimètre carré.

Si l'on considère la section nette des conducteurs en cuivre, la densité varie dans les induits bien ventilés, entre 1200 et 1800 ampères par pouce carré (184 à 276 ampères par centimètre carré), mais le cuivre n'occupe que les 0,4 ou 0,5 de la section totale des encoches, de telle sorte que la section brute de la couronne est en réalité égale, *grosso modo*, à quatre fois celle de la section réelle du cuivre. La densité brute du courant dans la zone active, telle que l'envisage M. Mavor, doit donc varier entre 46 et 70 ampères par centimètre carré, ce qui correspond à des valeurs de la puissance volumique comprise entre 4,6 et 7 ergs par seconde et par centimètre cube, pour un champ de 1 gauss, et une vitesse périphérique de 1 centimètre : seconde.

On peut étendre la conception de la zone active en tenant compte, non seulement de la densité de courant dans la couronne, mais de l'induction magnétique dans l'induit, et aussi de la vitesse périphérique de cet induit. Trois facteurs orthogonaux entre eux figurent, en effet, dans l'expression de la puissance volumique : la vitesse tangentielle, le flux magnétique radial et le courant axial. Pour traduire leurs relations en formules, désignons par :

E, la force électromotrice développée par l'induit en volts ;

I, le courant, en ampères ;

Φ, le flux magnétique émanant d'un pôle, en maxwells ;

N, le nombre *total* de conducteurs sur l'induit ;

p, le nombre de pôles ;

n, le nombre des circuits couplés en dérivation sur le bobinage ;

d, le diamètre de l'induit, en centimètres ;

l, la longueur de l'induit, en centimètres ;

h, la hauteur des dents ou la profondeur des encoches, en centimètres ;

ω, la vitesse angulaire, en tours par seconde ;

v, la vitesse périphérique de l'induit, en cm : s.

On aura entre ces différents éléments les relations évidentes suivantes :

Surface périphérique de l'induit : πdl cm².

Volume de la couronne active : πdlh cm³.

Puissance de l'induit : EI watts.

Puissance volumique de la couronne active :

$$\frac{EI}{\pi dlh} \text{ watts par cm}^3. \qquad (1)$$

On peut écrire pour valeur de la force électromotrice de la dynamo :

$$E = \frac{\omega \Phi N}{n} \cdot 10^{-8} \text{ volts}. \qquad (2)$$

et

$$\omega = \frac{v}{\pi d}. \qquad (3)$$

En remplaçant dans (1) on a

Puissance volumique de la zone active :

$$\frac{vp\Phi NI}{\pi^2 nd^2 lh} \cdot 10^{-8} \text{ watts par cm}^3. \qquad (4)$$

Expression qui peut se décomposer en trois facteurs

$$\frac{NI}{\pi ndh} \cdot \frac{p\Phi}{\pi dl} \cdot v.10^{-8}.$$

Ces trois facteurs peuvent s'écrire séparément :

$\frac{NI}{\pi ndh} = \alpha$, densité brute de courant dans la zone active.

$\frac{p\Phi}{\pi dl} = \beta$, induction magnétique brute dans la zone active.

$v.10^{-8} = \gamma$ facteur proportionnel à la vitesse périphérique de l'induit.

En rapprochant les valeurs de ces trois facteurs, α, β et γ pour différentes machines, on peut les comparer entre elles au point de vue de l'utilisation spécifique des matériaux. Quelques constructeurs mettent beaucoup de courant dans le fil, et font ainsi le facteur α grand. D'autres utilisent une induction magnétique élevée dans la couronne active, et font β grand. D'autres impriment à l'induit une vitesse périphérique élevée et augmentent par ce moyen la puissance volumique de leurs dynamos. Si l'on tient compte des conditions imposées par une commutation sans étincelles, α ne peut être élevé que si β l'est aussi, bien que la réciproque ne soit pas vraie, et que l'on puisse faire β grand sans que α le soit. Quant à γ, il peut être grand indépendamment de α et de β.

L'auteur a fait une analyse minutieuse d'une cinquantaine de dynamos modernes en vue d'en déduire les valeurs des facteurs d'utilisation spécifique. Ces 50 dynamos ne comportaient pas de type à induit lisse, ni de dynamos à courant constant, ni de dynamos de faible puissance, mais seulement des machines modernes à induit denté, employées pour la distribution de l'énergie ou pour la traction, et toutes d'une puissance supérieure à 50 kilowatts.

Dans toutes ces machines, le facteur α est compris entre 300 et 460 ampères par pouce carré.

Les valeurs de β sont comprises entre 30 000 et 45 000 lignes par pouce carré (4 500 à 7 000 gauss), les valeurs limites extrêmes étant 22 000 et 58 000 lignes par pouce carré.

Les valeurs de γ correspondent à des valeurs de v comprises entre 10 et 25 m par seconde.

Dans quelques cas particuliers, on a utilisé des vitesses périphériques supérieures.

Le produit des trois facteurs donne la puissance volumique de la dynamo en watts par centimètre cube. Dans les machines examinées cette puissance volumique a varié entre 45 et 120 watts par pouce-cube (3 à 7 watts par centimètre cube). Dans un cas particulier, la puissance volumique s'est abaissée jusqu'à 1 watt par centimètre cube et s'est élevée jusqu'à 12 watts par centimètre cube dans un autre cas. Ce dernier cas est celui de la dynamo à courant continu de 1 600 kilowatts décrite par M. Hobart, l'an dernier, au Congrès de Glasgow. Une grande vitesse périphérique et une grande saturation des pièces polaires contribuent à donner à cette dynamo une puissance élevée comparativement à ses dimensions et à son poids.

Il est naturellement possible d'obtenir une grande utilisation spécifique apparente en acceptant un accroissement de température supérieur à celui qui est généralement permis dans la construction. Il n'est pas douteux qu'à ce point de vue les constructeurs anglais ont été mis dans des conditions très inférieures par les exigences des ingénieurs-conseils. Un accroissement de 20° C. a été spécifié dans des cas où une élévation de 45 et même 50° C. aurait été parfaitement acceptable. Si le rendement est satisfaisant, l'isolement adéquat aux circonstances et suffisant, il semble inutile d'imposer au constructeur l'obligation qu'aucune partie de la dynamo ne se chauffe de plus de 20° C. Il se trouve ainsi dans l'impossibilité de donner à sa machine l'utilisation spécifique maximum et contraint à la faire plus lourde et plus coûteuse qu'elle l'aurait été sans ces exigences.

Le minimum de taches solaires et le magnétisme terrestre, par le Révérend **A.-L. Cortie**.

Par une série d'observations s'étendant sur toute la période 1841-1896, Ellis avait démontré l'exacte concordance qui existe entre les courbes de fréquence des taches solaires et celles des variations diurnes de la déclinaison et de la composante horizontale du magnétisme terrestre, quant à la période et l'intensité. Lord Kelvin a trouvé que cette concordance ne vient pas d'un rapport de cause à effet ; les observations de Sidgreaves ont confirmé cette opinion et montré que ces deux phénomènes ont probablement une cause commune, d'ailleurs inconnue. D'une étude approfondie des observations faites de 1899 à 1901, le Père Cortie conclut qu'il n'existe rien de plus qu'une corrélation, dans le sens où l'entend Sidgreaves. La plus grande tache solaire de 1901, de dimensions tout à fait inusitées, n'a été accompagnée d'aucun trouble magnétique, tandis que de grands orages magnétiques ont eu lieu à des époques de calme solaire absolu. Le Père Cortie, en outre, a montré des projections des meilleures courbes de coïncidence de Young et trouvé qu'il n'y avait aucune coïncidence digne de remarque. Cette année, les taches solaires ont été fort calmes.

P. L.

Le Gérant : C. NAUD.



Tome XXXIV Samedi 17 Janvier 1903. 10e Année. — N° 3.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

LA TURBINE A VAPEUR PARSONS

Dans ces dernières années, la machine à vapeur à piston a vu surgir deux concurrents redoutables : la turbine à vapeur et le moteur à gaz pauvre. Mais si ce dernier offre, dans bien des cas, des avantages sur la machine à vapeur au point de vue de la consommation de combustible, il a sur elle l'inconvénient de donner un mouvement plus irrégulier, inconvénient grave dans certaines applications, en particulier pour la commande des dynamos. La turbine à vapeur, dans la construction de laquelle n'entre aucune pièce à mouvement alternatif, donne au contraire une régularité plus grande que la machine à piston, mais jusqu'à ces derniers temps, on pouvait lui reprocher une consommation de vapeur plus considérable que celle-ci.

Les efforts des constructeurs de turbines à vapeur ont donc porté sur la réduction de cette consommation. MM. Parsons, dont le premier modèle de turbine remonte à 1884, a particulièrement réussi dans cette voie, et aujourd'hui, les turbines construites, soit dans les Ateliers C. A. Parsons et C°, de Newcastle-on-Tyne (Angleterre), soit dans les ateliers Brown, Boveri et Cie, de Baden (Suisse), qui ont la licence pour le continent européen, peuvent rivaliser d'économie avec les machines à piston les plus économiques, du moins pour les grandes puissances.

Nous avons déjà décrit les turbines Parsons dans un article publié en 1897 (1), à la suite des premiers essais de ces turbines à la propulsion des navires. A l'Exposition universelle de 1900, on pouvait voir dans la salle des machines de l'avenue de Suffren, deux groupes l'un de 500 kw, l'autre de 75 kw, dont les moteurs étaient constitués par des turbines

(1) J. Reyval. Turbines à vapeur Parsons. *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 260, 31 juillet 1897.

Parsons, et sur la Seine, près du Palais des Armées de terre et de mer, le petit yacht « Turbinia », dont les essais retentissants avaient été précisément l'occasion de la publication de l'article que nous venons de rappeler. A la même époque, l'attention des ingénieurs se trouvait appelée sur ces turbines par les brillants résultats des essais du turbo-alternateur de 1 000 kw de l'usine d'Elberfeld, essais qui ont été publiés avec détails dans ces colonnes [1].

Aujourd'hui, la puissance du turbo-alternateur d'Erberfeld, qui paraissait cependant déjà considérable il y a deux ans, a été dépassée, et de beaucoup : deux turbo-alternateurs, l'un de 2 500 kw, l'autre de 3 200 kw, sont en fonctionnement à l'usine génératrice de Milan de la Société Générale italienne Edison ; un de 3 700 kw est installé à l'usine de Francfort ; des turbo-alternateurs de 4 500 kw sont en construction pour l'usine génératrice des chemins de fer métropolitains de Londres. D'autre part, les essais effectués sur les plus récents groupes électrogènes ont confirmé les chiffres trouvés à Elberfeld pour la consommation de vapeur par kilowatt-heure aux bornes des alternateurs et pour la régularité de la marche.

En présence de ce développement des applications des turbines, il nous a paru utile de reprendre l'étude de ces moteurs. Nous diviserons cette étude en trois parties : dans la première, nous décrirons le plus récent type de turbine construit par la maison Brown, Boveri et Cie, qui a apporté quelques améliorations au type décrit dans notre article antérieur, spécialement en ce qui concerne la disposition générale et la construction du régulateur ; nous donnerons ensuite les résultats des essais de consommation et de régularité effectués sur quelques groupes électrogènes ; nous terminerons par la comparaison de la turbine à vapeur Parsons avec la machine à piston.

I. — Description de la turbine Parsons

Description générale. — La turbine Parsons, telle qu'elle est exécutée actuellement est une turbine axiale à admission totale. Sa partie essentielle est un tambour horizontal T (fig. 1), tournant dans deux paliers LL_1, et sur lequel sont pratiqués un certain nombre de gradins. Ce tambour est entouré d'une enveloppe fixe G, formée de deux parties assemblées suivant deux génératrices horizontales et qui présente une disposition en gradins correspondant à celle du tambour.

Entre le tambour et l'enveloppe, se trouve un espace concentrique qui, s'étendant tout le long du tambour, est occupé par un certain nombre de couronnes de turbines.

Les aubages des couronnes de distribution sont fixés sur l'enveloppe et dirigés, suivant le rayon, de la périphérie vers le centre, c'est-à-dire de l'enveloppe vers le tambour, tandis que les aubages des couronnes mobiles (fig. 2), sont fixés sur le tambour tournant et dirigés, suivant le rayon du centre vers la périphérie, c'est-à-dire du tambour vers l'enveloppe.

Les couronnes mobiles tournent entre les couronnes de distribution, chaque couronne mobile alternant avec une couronne fixe (fig. 3). Les couronnes mobiles sont ouvertes à leur périphérie, et les couronnes fixes à leur partie intérieure.

La vapeur admise par une seule valve V (fig. 8), du côté du cylindre du plus petit diamètre du tambour, en A (fig. 1), s'écoule parallèlement à l'axe du tambour en se détendant à

[1] T. Pausert. Turbines à vapeur Parsons. *L'Éclairage Électrique*, t. XXVI, p. 282, 23 février 1901.



mesure qu'elle traverse les différentes couronnes pour se rendre au tuyau d'échappement C.

La différence totale de pression entre la pression à l'admission et la pression à l'échappement (pression atmosphérique ou pression du condenseur suivant le cas) est ainsi répartie

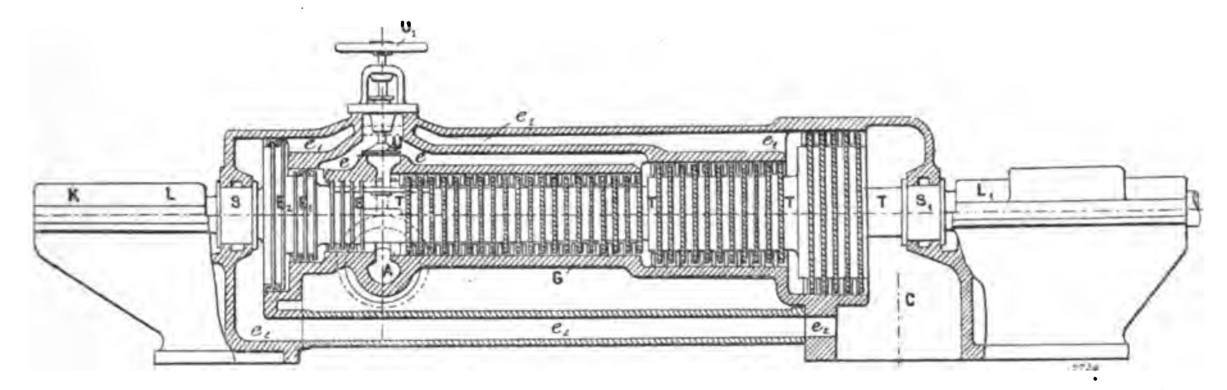


Fig. 1. — Coupe longitudinale d'une turbine Parsons et Brown, Boverí et Cie.

A, orifice d'admission de la vapeur; C, conduite d'échappement au condenseur; G, enveloppe portant intérieurement les aubages fixes; T, T, tambour portant à sa périphérie les aubages mobiles; L, L_1, paliers; S, S_1, joints à cannelures; E, E_1, E_2, pistons à cannelures compensant la poussée longitudinale de la vapeur sur le tambour; e, e_1, e_2, canaux amenant la vapeur plus ou moins détendue sur les faces des pistons compensateurs; U, U_1, valve utilisée pour la marche sans condenseur

entre chacune des paires des couronnes, ce qui permet d'obtenir une vitesse circonférentielle relativement réduite des couronnes mobiles.

La vapeur admise en A détermine donc directement un mouvement de rotation, comme l'eau dans les turbines hydrauliques. Son mode d'action peut être expliqué de la manière suivante : en traversant la première couronne de distribution, la vapeur subit une certaine détente, ce qui donne lieu à la transformation d'une partie de son énergie potentielle en force vive. A la sortie de cette couronne, les particules de vapeur exercent par leur force vive une action sur les ailettes de la première couronne mobile. Dans cette dernière, la vapeur change de direction et subit une nouvelle détente en s'écoulant vers la deuxième couronne de distribution, et en déterminant une réaction sur les ailettes de la couronne mobile, réaction qui vient s'ajouter à l'action dont on a fait mention plus haut. Dans les paires suivantes de couronne fixe et couronne mobile, l'écoulement de la vapeur donne lieu aux mêmes actions et réactions.

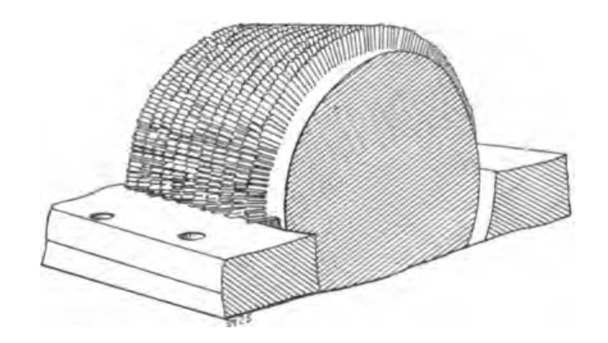


Fig. 2. — Vue des ailettes mobiles.

Ainsi la turbine Parsons n'utilise pas seulement la détente de la vapeur comme les machines à piston, mais encore l'énergie cinétique de la vapeur dont l'influence est si nuisible dans ces dernières.

La vapeur, en s'écoulant, perd de sa pression et augmente de volume ; pour obtenir l'accroissement de section nécessaire à l'écoulement, on a prévu des ailettes d'une plus grande longueur radiale, à mesure qu'elles se trouvent sur des parties du tambour ou de l'enveloppe de diamètre plus grand.

Les figures 1, 4 et 5 font voir la disposition en gradins du cylindre ; les vues 4 et 5 sont prises sur des turbines exécutées dont on a enlevé les tôles de revêtement.

Les aubages sont construits de manière qu'aux différents régimes de marche, la charge se répartisse à peu près également entre les diverses couronnes de la turbine.

Pour des unités de grande puissance de 1 500 à 2 000 chevaux, et au-dessus, les dimensions d'un tambour unique auraient été trop considérables. On a donc réparti l'expansion de la vapeur entre deux tambours et deux enveloppes qui sont situés de part et d'autre d'un palier intermédiaire. Les turbines de la ville d'Elberfeld (2 machines de 1 600 chevaux chacune), de Milan (une machine de 3 000 chevaux et une machine de 5 000 chevaux) et de Francfort-sur-Mein (5000 chevaux) sont exécutées d'après ce principe.

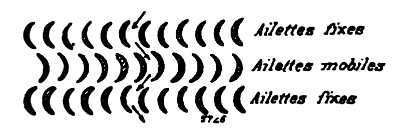


Fig. 3. — Disposition des ailettes.

Les turbines Parsons sont actuellement construites pour fonctionner à condensation. Si les turbines doivent aussi travailler temporairement avec échappement libre, elles sont munies d'une valve de renversement U (fig. 1) qui permet d'envoyer directement la vapeur par le canal *e* à un gradin de plus grand diamètre. On

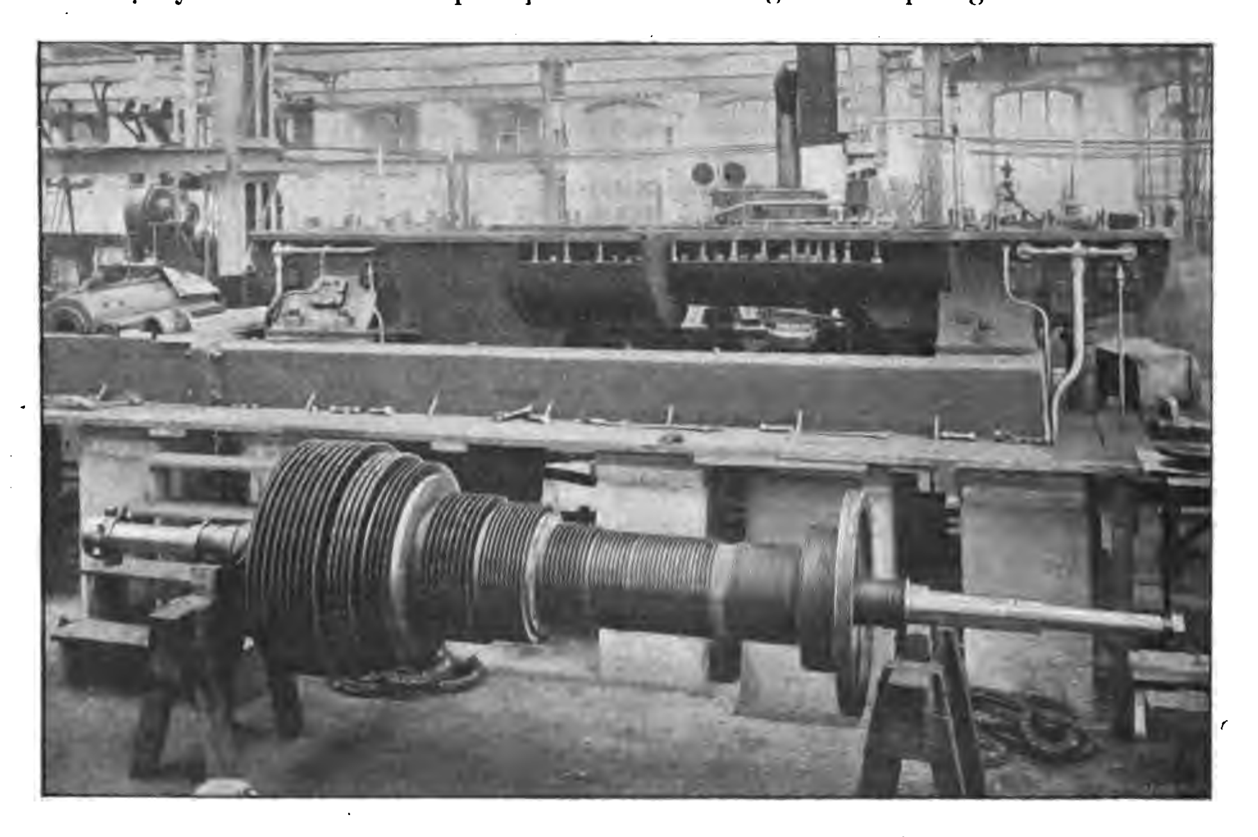


Fig. 4. — Partie tournante d'une turbine Parsons de 1500 chevaux.

offre ainsi une plus grande section à l'écoulement de la vapeur, le degré de détente étant notablement réduit et la consommation de vapeur plus considérable à charge égale, lorsque la turbine fonctionne à échappement libre.

Pistons compensateurs. — Les réactions, dont nous avons parlé plus haut, de la vapeur sur les couronnes mobiles produisent sur le tambour une poussée axiale dans le sens de l'écoulement de la vapeur. Cette poussée est équilibrée par des pistons compensateurs E,

E_1, E_2 (fig. 1), dont les dimensions correspondent aux différents gradins du cylindre. Des canaux e, e_1, e_2 mettent les pistons compensateurs sous la même pression que le gradin correspondant.

Les pistons compensateurs ne présentent aucune partie frottant contre le bâti fixe et leur

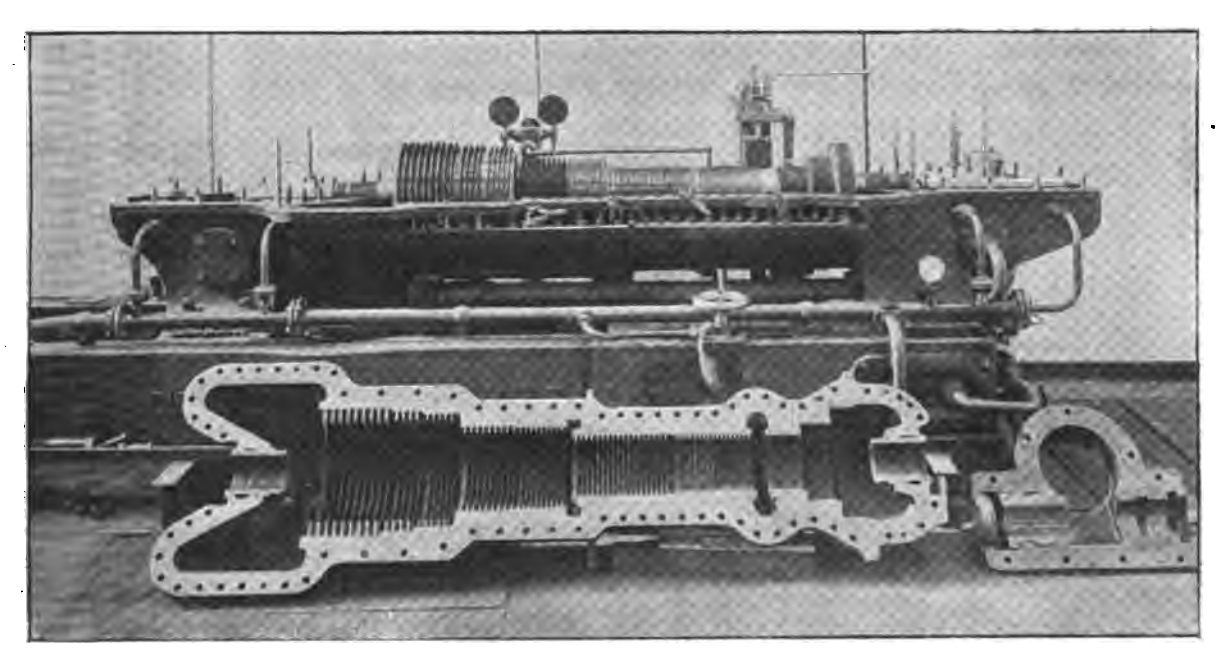
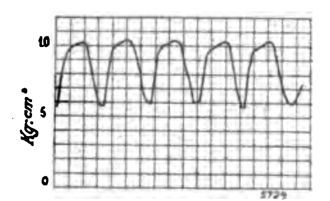


Fig. 5. — Partie fixe d'une turbine Parsons.

étanchéité est obtenue par la vapeur elle-même au moyen de cannelures. Il semble que les particules de vapeur, qui sont au contact de la partie tournante, en reçoivent par le frottement une accélération centrifuge qui les force pour ainsi dire à former un voile et à rendre le joint étanche, en opposant une résistance suffisante au passage de la vapeur. Des joints



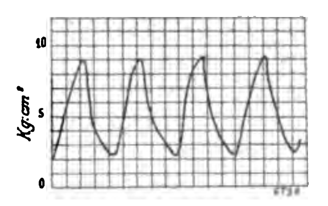


Fig. 6. et 7. — Diagrammes d'admission à pleine charge et demi-charge, la pression au condenseur étant de 0,1 kg : cm².

semblables existent à la sortie de l'arbre du bâti, en S S_1 (fig. 1) et s'opposent à l'entrée de l'air dans l'espace C en communication avec le condenseur. La vapeur qui est nécessaire à ces joints provient, comme nous le verrons plus tard, de l'échappement de la distribution. L'étanchéité est si parfaite, qu'elle permet d'obtenir suivant le type de la pompe à air et les conditions de fonctionnement, un vide qui peut atteindre 94 à 95 p. 100 de la pression barométrique existante.

Le jeu axial entre les couronnes fixes et les couronnes mobiles est de quelques millimètres et peut être maintenu à la grandeur voulue au moyen d'un palier cannelé ordinaire,

placé en bout d'arbre, en K. Ce palier, par suite de la disposition décrite plus haut, ne supporte aucune poussée. Le jeu radial entre les parties tournante et fixe est au contraire aussi faible que possible, mais assez grand cependant pour qu'il ne donne lieu dans le service à aucun désagrément.

Distribution. — La vapeur n'entre pas d'une manière continue dans la turbine, mais seulement par intermittences ; le nombre d'admissions est d'environ 150 à 250 par minute.

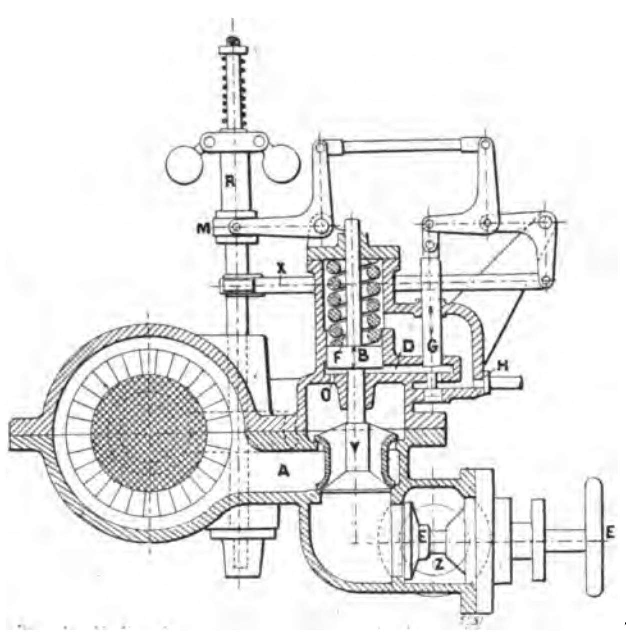


Fig. 8. — Mécanisme de distribution.

E, valve principale d'admission de la vapeur, commandée à la main ; V, valve à mouvement alternatif commandant l'orifice d'admission A de la turbine ; B, piston, avec ressort F, actionnant la valve V ; G, piston commandé par un jeu de leviers coudés et l'excentrique X et fermant ou ouvrant le canal D ; H, canal d'échappement de la vapeur agissant sur le piston B ; R, régulateur centrifuge ; M, manchon du régulateur.

Les diagrammes (fig. 6 et 7) relevés avec l'indicateur dans la chambre d'admission A (fig. 1 et 8) montrent les caractères particuliers de l'admission à différentes charges. Ces diagrammes ne se rapportent, bien entendu, qu'aux variations de la pression dans la chambre d'admission. Les ordonnées indiquent les valeurs de la pression en kg : cm² ; les abscisses sont une fonction quelconque du temps, c'est-à-dire de la vitesse donnée au tambour de l'indicateur.

Ce mode particulier d'admission est obtenu par une suite ininterrompue de soulèvements et d'abaissements de la valve d'admission ; ce mouvement est donné par un servo-moteur à vapeur.

La figure 8 représente d'une manière schématique le mécanisme de distribution. Pour faciliter la compréhension, on a employé dans cette figure les mêmes lettres que dans les figures 9 et 10.

La valve principale E, qui est actionnée à la main, donne accès à la vapeur dans la chambre de la soupape. Lorsque cette soupape est soulevée, la vapeur peut passer dans la chambre d'admission A de la turbine. Par une ouverture O pratiquée dans la paroi de la chambre de la soupape, la vapeur arrive au-dessous d'un piston B, qui se déplace dans un petit cylindre ; le piston B est calé sur la tige de la soupape V. Suivant que le canal D est ouvert ou fermé par le piston G, la vapeur s'échappe ou soulève le piston B et la soupape V en surmontant la résistance du ressort F. Le piston G reçoit de l'excentrique X un mouvement alternatif de bas en haut et de haut en bas. L'excentrique lui-même est actionné par l'arbre de la turbine au moyen d'une réduction à vis sans fin et d'engrenages, si bien que le nombre des oscillations dépend directement de la vitesse de la turbine. La position moyenne du piston G peut être modifiée en déplaçant le manchon du régulateur centrifuge R. Cette modification influe naturellement sur la position moyenne du piston B et de la soupape V comme dans un servo-moteur ordinaire.

La chambre d'échappement de la vapeur du servo-moteur est en communication avec l'espace qui se trouve au-dessus du piston B. La vapeur s'écoule par le canal, soit dans l'atmosphère si la turbine fonctionne avec échappement libre, soit par les tuyaux N N_1

(fig. 9 et 10) vers les paliers cannelés S S_1 (fig. 1), de l'arbre de la turbine. On peut d'ailleurs, le cas échéant, envoyer directement de la vapeur dans ces paliers. A cet effet on a prévu un tuyau I (fig. 9 et 10).

Ce mode spécial de réglage de l'admission présente l'avantage que la vapeur, bien qu'admise à pleine pression seulement par intermittence, agit d'une manière plus rationnelle que dans le cas d'une régulation par simple étranglement.

De plus, par le fait que l'ensemble du mécanisme de distribution est continuellement

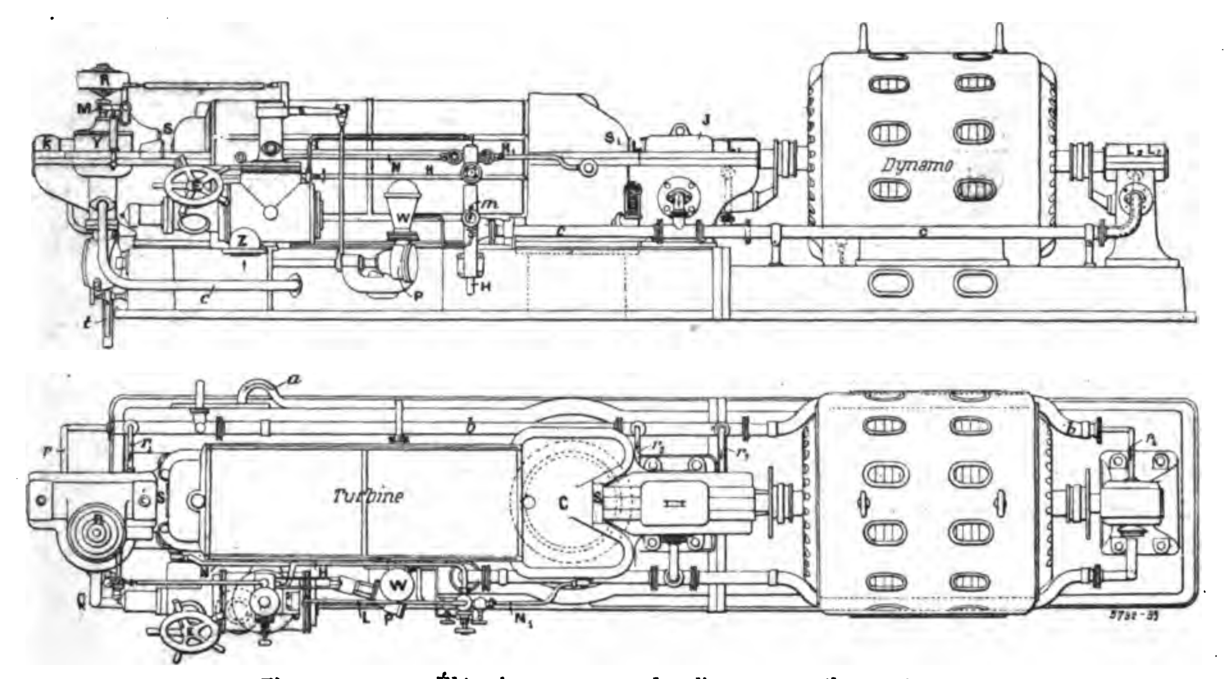


Fig. 9. et 10. — Élévation et vue en plan d'un groupe électrogène.

Z, tuyau d'arrivée de la vapeur; F, valve principale d'admission; L, L_1, L_2, paliers; K, palier cannelé; S, S_1, joints à cannelures; C, chambre d'échappement au condenseur; J, joint d'accouplement de l'arbre de la turbine et de l'arbre de la dynamo.

R, régulateur; Q, ressort réglant la position du manchon M du régulateur; X, excentrique du mécanisme de distribution; H, canal d'échappement de la vapeur du servo-moteur; N, N_1, tube conduisant cette vapeur aux joints à cannelures S S_1; I, tube amenant de la vapeur vive à N et N_1.

P, pompe à huile; W, réservoir d'air; *m*, manomètre; *a*, tube conduisant l'huile au réfrigérant; *b*, canalisation principale de l'huile; *r*, r_1, r_2, r_3, r_4, branchements amenant l'huile aux paliers; *c*, canalisation pour le retour de l'huile; *t*, tube d'amenée de l'eau au réfrigérant d'huile.

en mouvement, son fonctionnement est beaucoup plus facile, plus sûr et plus exact que s'il demeurait au repos.

Le changement de la vitesse des turbines pendant leur marche, nécessaire en particulier pour le couplage des alternateurs qu'elles actionnent, s'obtient dans les limites données par le ressort du régulateur, au moyen d'un ressort antagoniste Q (fig. 9 et 10) qui agit par deux leviers sur le manchon du régulateur.

Dans le cas où le mécanisme de distribution pour une cause quelconque serait mis hors de service, un régulateur automatique est disposé sur l'arbre du régulateur, environ à la hauteur Y (fig. 9 et 10). Ce régulateur automatique, au moyen d'un simple mécanisme de déclenchement, ferme subitement la valve principale d'admission E, dès que la vitesse de la turbine dépasse de 15 p. 100 environ la valeur normale.

PALIERS. — La construction des paliers est tout particulièrement intéressante. Dans les



petits et dans les moyens types, jusqu'à environ 1 000 chevaux, on emploie des coussinets spéciaux formés de manchons concentriques. Les couches d'huile qui se trouvent entre ces manchons permettent un certain centrage suivant l'axe naturel de rotation du tambour tournant, et sont de plus un moyen excellent pour donner un peu d'élasticité. Dans les types de plus grande puissance qui ont des vitesses plus réduites, on emploie des paliers sphériques avec refroidissement par circulation d'eau. Le graissage des paliers de la turbine se fait sous pression de la manière suivante : une pompe P (fig. 9 et 10) est actionnée, en même temps que le régulateur et l'excentrique X du mécanisme de distribution, par l'arbre de la turbine au moyen d'une réduction par vis sans fin et engrenages. Cette pompe aspire l'huile d'un réservoir qui se trouve dans la plaque de fondation, et la refoule par *a* à travers un réfrigérant à circulation d'eau, également placé dans la plaque de fondation, dans une conduite de distribution *b*. A l'origine de la conduite de refoulement est disposé un réservoir à air W. De la conduite de distribution partent les petits tuyaux r_1, r_2, r_3, r_4 qui amènent l'huile dans les paliers. De là l'huile se rend dans une conduite collectrice *c* et retourne au réservoir d'huile. Un manomètre *m* disposé sur le réservoir à air indique constamment si l'huile a la pression nécessaire à la circulation. L'huile est donc continuellement employée au graissage des paliers et elle n'a besoin d'être renouvelée qu'après plusieurs mois.

Pour les turbines de grande puissance le réservoir d'huile ainsi que le réfrigérant sont habituellement installés dans le sous-sol.

CONDENSEUR. — La commande des pompes à air et des pompes à eau du condenseur se fait en général par une machine indépendante ou par un moteur électrique.

(*A suivre.*)

J. REYVAL.

INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES DE L'UNIVERSITÉ DE CHICAGO

L'Université de Chicago ne comprend pas moins de 25 collèges, occupant chacun un bâtiment distinct. L'éclairage de ces locaux, la commande des ascenseurs, celle des ventilateurs et d'un grand nombre de petits appareils mécaniques sont assurés au moyen de l'électricité; les laboratoires sont pourvus d'une canalisation à courant continu et d'une canalisation à courant alternatif.

Les feeders reliant les génératrices aux différents bâtiments sont des câbles sous plomb placés sur le radier de tunnels voûtés dont la longueur varie de 1 à 1,6 km; un plancher est disposé au-dessus des câbles. Ces tunnels, construits en briques, ont une largeur de 2,4 à 3 m et une hauteur de 1,80 à 2 m. Sur leur parois sont fixées des canalisations de vapeur à basse pression de 30 et 20 cm de diamètre, servant au chauffage des bâtiments et des salles de bains; trois conduites de 20 cm de diamètre amènent aux cuisines de la vapeur à haute pression; enfin des tubes de 5 cm de diamètre, fixés également aux parois des tunnels, servent à la distribution de l'air comprimé.

La température de l'air de ces tunnels est nécessairement très élevée. Lorsqu'on a besoin d'y pénétrer pour cause de réparations, on renouvelle l'air du tronçon correspondant au moyen de deux ventilateurs placés à chaque extrémité de ce tronçon, l'un aspirant l'air



chaud du tunnel, l'autre y refoulant l'air extérieur. Ces ventilateurs sont montés sur roues, et commandés par des moteurs électriques d'une puissance de 1 kilowatt; des câbles de plusieurs centaines de mètres de longueur amènent le courant.

L'usine génératrice occupe un vaste bâtiment sans étage de 15 m de large et de 90 m de long, séparé en trois salles dont la plus grande est occupée par les chaudières. La cheminée, de forme octogonale, a une hauteur de 45 m et le diamètre de la circonférence circonscrite est d'environ 3 m.

La salle des chaudières contient 20 générateurs tubulaires horizontaux de 4,8 m de

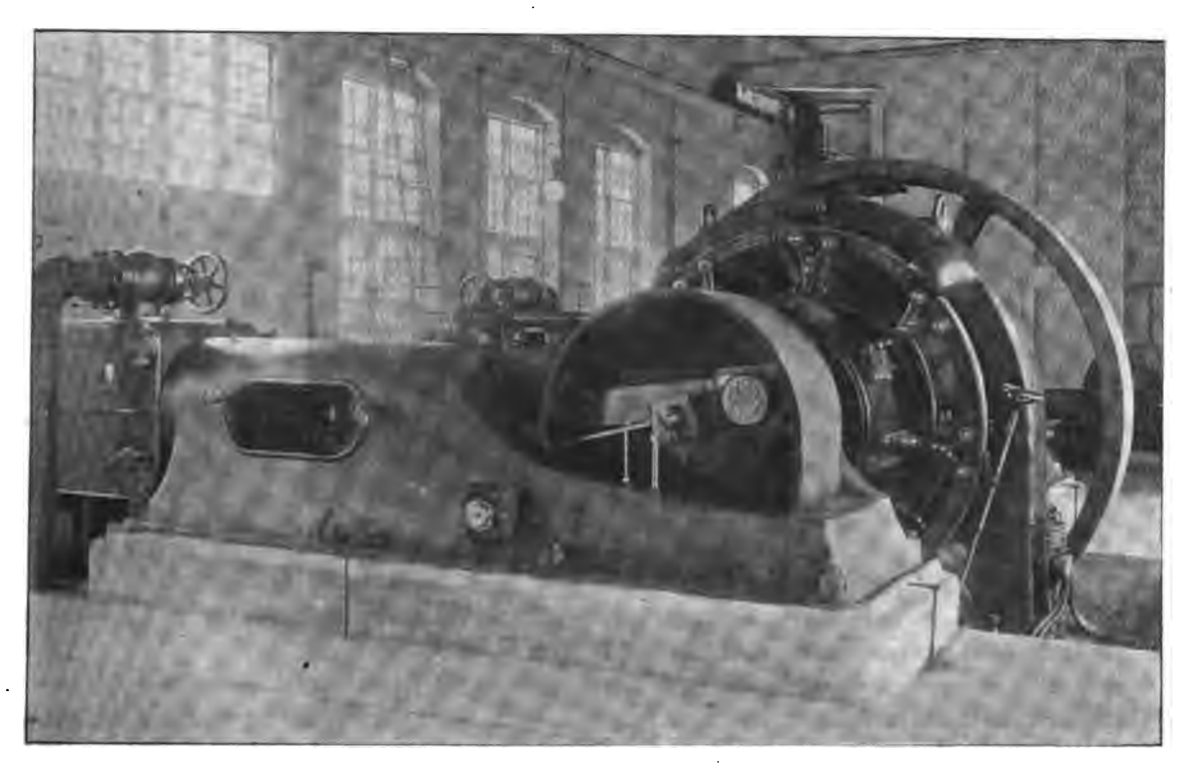


Fig. 1. — Groupe électrogène à courant continu de 350 kw. de l'Université de Chicago.

longueur et 1,80 m de diamètre. Chaque générateur correspond à une puissnce de 125 chevaux. L'alimentation des foyers est faite au moyen de chargeurs mécaniques; des tuyères y envoient de l'air chaud sous pression. Les gaz de la combustion traversent des économiseurs avant de se rendre à la cheminée. L'installation des chaudières est « up to date » et comprend tous les appareils d'essai nécessaires; en particulier des appareils d'analyse des gaz de la combustion et un « économètre » du type enregistreur. La consommation journalière en charbon et en eau est notée avec soin.

Dans la salle des machines se trouvent 3 groupes générateurs à courant continu de 350, 250 et 60 kilowatts et un moteur-générateur ou compensateur. La figure 1 donne la vue du groupe de 350 kilowatts, la figure 2 celle du moteur-générateur. La dynamo de 60 kilowatts est commandée par un moteur à vapeur « Ideal », monocylindrique, faisant 275 t : m ; les deux autres dynamos, de la Western Electric C°, sont calées sur l'arbre d'un moteur Ball à deux cylindres parallèles. En cas de réparation un quelconque des cylindres peut être démonté et la dynamo commandée par le cylindre restant. La tension aux bornes des dyna-



mos est de 250 volts; le réseau d'éclairage est à 3 fils et l'équilibrage des deux ponts à 125 volts, est assuré par le moteur générateur; la distribution de force motrice est faite à 250 volts par deux fils.

Le tableau de distribution est construit d'après la pratique courante : panneaux de marbre de Vermont de 5 cm d'épaisseur avec cadres en acier, avec instruments de mesure ordinaires et rhéostats, interrupteurs et coupe-circuit automatiques.



Fig. 2. — Moteur-générateur ou compensateur.

Une dynamo de 400 kilowatts ainsi qu'un compensateur de 100 kilowatts de la Western Electric C° seront prochainement installés.

L'atelier de réparation comprend plusieurs machines-outils commandées électriquement.

Un alternateur entraîné par un moteur à courant continu fournit le courant alternatif écessaire aux expériences et essais.

Frank C. Perkins.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

Groupe électrogène de Dion et Bouton

Au dernier Salon du Cycle, la maison de Dion et Bouton exposait un nouveau modèle de groupe électrogène, spécialement destiné aux automobiles dites mixtes, mais qui, comme le modèle plus ancien que nous avons signalé [1], convient également fort bien pour les petites installations d'éclairage.

Ce groupe, dont la figure 1 montre une vue d'ensemble, est constitué par un moteur à essence de pétrole, du type ordinaire de la maison de Dion-Bouton, commandant directement une dynamo tétrapolaire de 4,4 kilowatts de puissance.

Le moteur a une vitesse angulaire de 1 500 tours par minute et moitié de son carter fait

[1] *Écl. Élect.*, t. XXX, p. LII, 25 janvier 1902.



corps avec la carcasse inductrice de la dynamo dont l'induit est calé directement sur l'arbre du moteur.

La dynamo a une carcasse inductrice en acier coulé, munie de 4 noyaux polaires intérieurs avec épanouissements ; sur ces noyaux sont enroulées les bobines inductrices placées en dérivation. L'induit a un enroulement en tambour du type multipolaire-série ; il peut être facilement enlevé pour une réparation, sans qu'il soit nécessaire de démonter l'arbre du moteur. Les porte-balais sont faciles à régler et à démonter. Un ventilateur, disposé en arrière de l'induit, assure un refroidissement convenable et fait évacuer les vapeurs qui s'échappent du moteur. Les bobines inductrices sont reliées directement

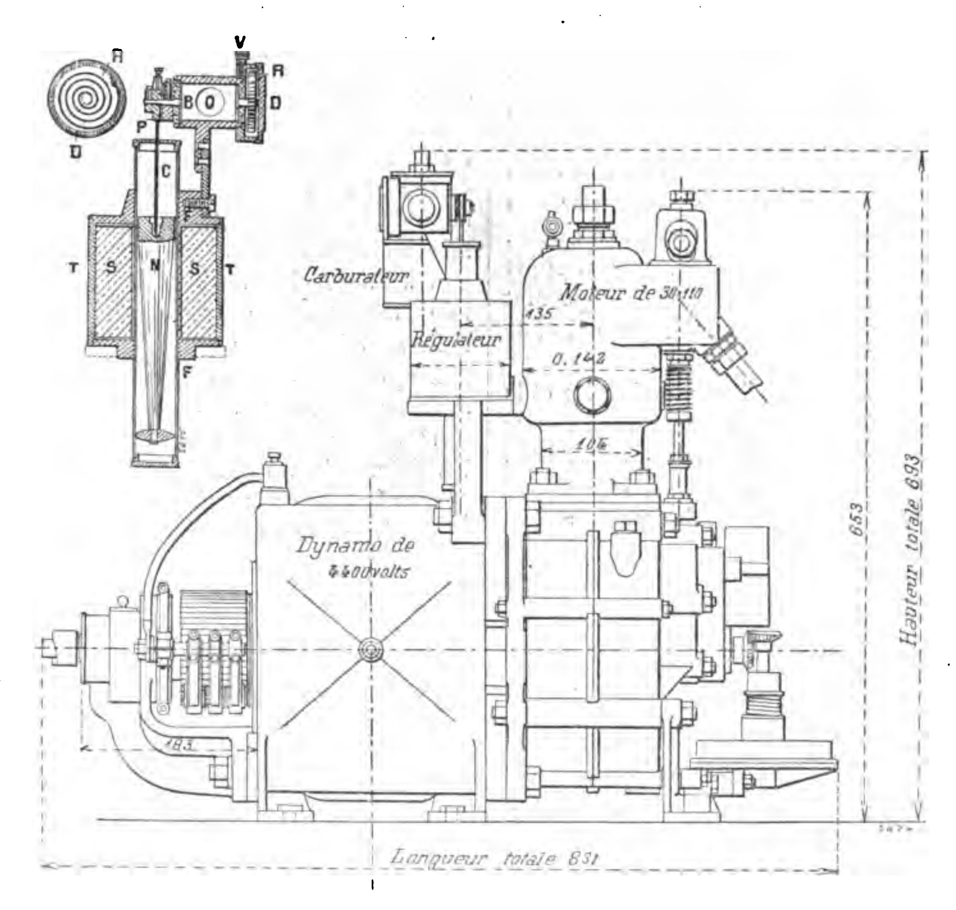


Fig. 1 à 3. — Elévation du groupe électrogène de Dion et Bouton, et détail du régulateur électrique.

aux balais, car cette dynamo ne comporte pas de rhéostat d'excitation.

Comme les groupes électrogènes antérieurs, ce nouveau type comporte un régulateur électrique dont l'action consiste à faire varier, à chaque instant, la vitesse angulaire du moteur pour maintenir aux bornes de la dynamo une force électromotrice constante, quelle que soit la charge, et cela, sans avoir recours à un rhéostat ou à une dynamo avec enroulement compound de l'inducteur.

Ce régulateur électrique (fig 2 et 3) se compose d'un solénoïde S, placé en dérivation sur les bornes de la dynamo et agissant sur un noyau plongeur N, de forme conique, guidé dans sa course par un tube que l'on peut remplir d'huile ou de glycérine de manière à constituer un amortisseur.

Le circuit magnétique du solénoïde est fermé par une carcasse formée de deux flasques FF' reliés extérieurement par le tube T ; ce dispositif, outre qu'il n'exige qu'un faible courant d'excitation, présente encore l'avantage de soustraire l'appareil à l'influence des champs

magnétiques voisins. L'extrémité supérieure du noyau du solénoïde est attachée, à l'aide d'une chaînette C, à la clé du robinet à boisseau B fixé sur le carburateur, par l'intermédiaire d'une poulie B, montée sur l'axe du robinet, dont l'ouverture O se trouve sur le passage du mélange détonant d'air et d'essence venant du carburateur. On voit que, dans ces conditions, le mouvement de rotation, imprimé à la poulie P, par les mouvements du noyau plongeur N, aura pour effet, suivant le sens de cette rotation, d'étrangler plus ou moins l'orifice donnant passage au mélange gazeux détonant. Un ressort en spirale R, monté sur la partie postérieure de l'axe de la clé du robinet, est fixé, d'autre part, par son extrémité libre, à une casserole D dont on peut, à volonté, faire varier la position, par rapport au robinet, à l'aide de la vis V, ce qui permet de régler la tension du ressort et, par suite, la sensibilité du régulateur.

A la mise en marche, la dynamo s'excite et la force électromotrice atteint rapidement sa valeur normale. Si la charge est nulle, le moteur tend à s'emballer ; mais, dès que la tension normale est dépassée, le noyau N du régulateur est attiré, la chaînette C agit sur la poulie P et ferme en partie le robinet qui commande l'admission du mélange détonant, réduisant ainsi la puissance du moteur et, par conséquent, sa vitesse jusqu'à ce que la force électromotrice de la dynamo ait repris sa valeur normale.

Aussitôt que la dynamo débite du courant, la vitesse du moteur, sous l'action de la charge, tend à se ralentir ; aussitôt la tension diminue et le noyau N du solénoïde remonte, permettant ainsi au robinet d'admission de s'ouvrir davantage sous l'action du ressort R.

Le régulateur électrique suit très exactement toutes les variations de charge et la tension du courant reste ainsi toujours constante. Son action est si rapide que le réglage s'effectue en moins de cinq secondes lorsqu'on passe brusquement de la marche à vide à la pleine charge ou réciproquement. Sa sensibilité est telle que les variations de tension sont inférieures à 3 volts. Quant à la dépense de puissance nécessaire pour assurer son fonctionnement, elle n'est que de 5 watts environ, c'est-à-dire presque négligeable.

J. R.

Dispositif pour supprimer le flux antagoniste, réduire les flux transversaux et supprimer ou diminuer les étincelles sous les balais des dynamos, par **A. Spilberg**. Brevet belge, n° 149501, 27 avril 1900, et allemand, n° 135734, 17 février 1901.

Sour ce titre l'auteur décrit un procédé de captation du courant dans les dynamos qui consiste à substituer, à chaque ligne de balais simple, deux lignes de balais disposées symétriquement par rapport à la ligne neutre, et reliées directement en court-circuit.

On peut opérer ainsi sans diminuer sensiblement la force électromotrice de la dynamo, étant donné que les sections qui se trouvent au voisinage de la ligne neutre ne sont le siège que de forces électromotrices très faibles et contribuent peu à l'obtention de la force électromotrice totale, tandis qu'au contraire elles offrent une résistance inutile au passage du courant induit.

D'après l'auteur, ce système présenterait les avantages suivants :

1° Suppression du flux antagoniste, lorsque les deux balais b et b' sont symétriques par rapport à la ligne neutre ;

2° Diminution des flux transversaux [1] ;

3° Meilleur refroidissement de l'induit, les bobines étant soustraites alternativement à la circulation du courant d'induit, pendant un temps appréciable ;

4° Meilleure commutation.

L'auteur pour justifier ce dernier avantage, qu'il considère d'ailleurs, à juste titre, comme le plus important, fait valoir les raisons suivantes :

Sous le balai placé en avant dans le sens du mouvement, la bobine verra son courant passer de o à la valeur du courant normal ; d'ailleurs la force électromotrice de cette bobine est dirigée dans le sens de ce courant, et la variation se fera sans difficulté.

Quant à la bobine placée sous le balai en arrière du mouvement, elle verra son courant passer de la valeur normale à O, et bien que la force électromotrice développée par le flux inducteur y soit de même sens que la force élec-

[1] Tant que les bobines supprimées ne se trouvent pas sous les pôles, elles ont une action nulle pour la production des flux ou mieux de la force magnétomotrice transversale ; l'avantage indiqué est donc illusoire.

N. d. T.

tromotrice de self-induction, l'auteur estime que les étincelles seront faibles (?).

Il est vrai qu'après avoir établi tous ses pre-

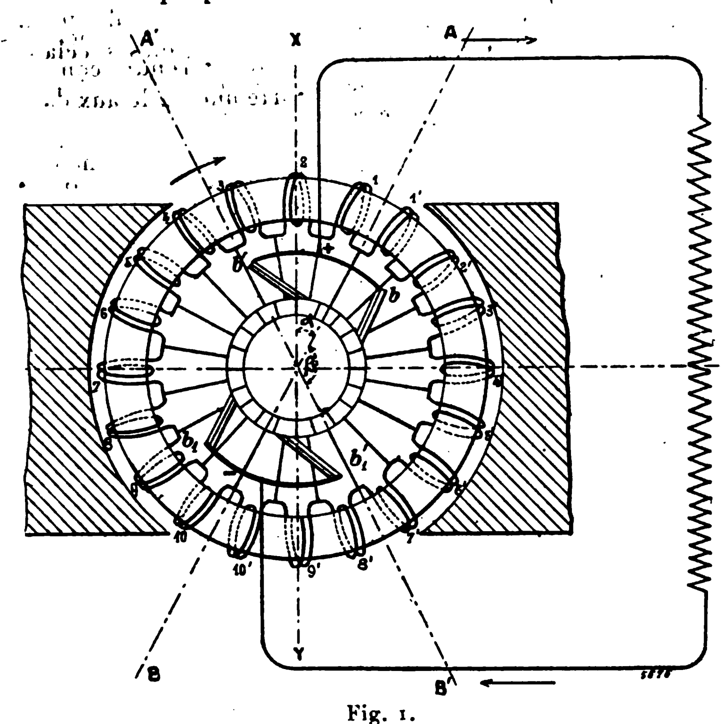


Fig. 1.

miers raisonnements pour le cas d'une position symétrique des deux balais autour de la ligne

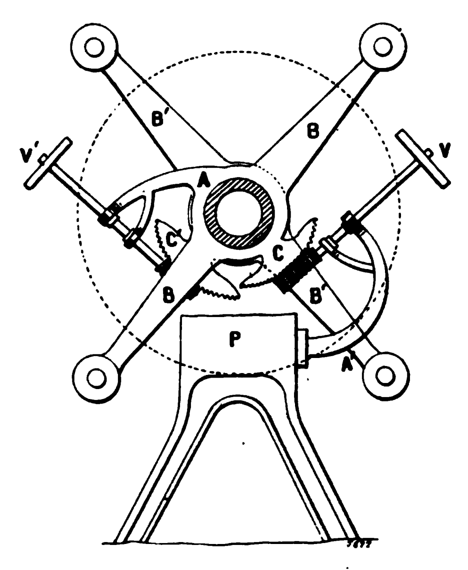


Fig. 2.

neutre, l'auteur, pour étudier la commutation, représente (fig. 1) les balais décalés d'un certain angle en avant, de façon que le balai arrière arrive sur la ligne neutre, ce qui détruit la force électromotrice que le flux inducteur y engendrait auparavant, mais que deviennent alors les conditions énoncées au début touchant la suppression du flux antagoniste, et aussi l'absence de courant dans les bobines supprimées du circuit ?

En terminant l'auteur fait remarquer qu'on s'approcherait de son procédé, en employant, avec des porte-balais ordinaires, deux ou plusieurs charbons par balais, de telle sorte que les deux charbons extrêmes touchent deux génératrices symétriques par rapport à la ligne neutre ([1]).

La figure 2 montre un procédé très simple pour permettre le réglage indépendant de l'ensemble des deux lignes de balais proposées par l'auteur, et de l'écartement de ces deux lignes.

A. M.

Appareil pour l'essai des huiles et des métaux anti-friction, par **G. Dettmar**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 741, 21 août 1902. Communication faite à la 10e assemblée annuelle de la « Verband Deutscher Elektrotechniker », à Düsseldorf.

Dans l'établissement de l'appareil, l'auteur s'est inspiré de l'idée que les huiles doivent être essayées dans les conditions les plus voisines possible de celles de leur emploi normal, sous des épaisseurs variant de 0,05 mm à 0,1 mm. De plus l'appareil ne comporte qu'un palier, car il est impossible d'assurer l'égale répartition de la charge sur deux paliers ; il est représenté dans les figures 1 et 2.

Il se compose d'un palier à bague et d'un arbre portant deux volants, un de chaque côté

([1]) De la même idée dérive aussi le procédé que nous avons vu employer depuis longtemps, bien antérieurement au brevet de l'auteur, et en particulier avec les dynamos Rechniewsky, qui consistait à placer les différents balais de cuivre d'une ligne, non sur la même génératrice, mais au contraire sur plusieurs génératrices différentes : on avait remarqué expérimentalement, que les étincelles étaient moindres dans ce dernier cas.

N. D. T.



du palier. Les essais se font par le procédé connu sous le nom de méthode d'amortissement, qui consiste à lancer à une vitesse donnée la machine et à étudier la décroissance de vitesse.

Les volants sont dimensionnés de telle sorte, que le temps nécessaire pour arriver à l'arrêt complet varie de cinq à quinze minutes, et que la pression dans les paliers soit d'environ 3 kg : cm² : il n'y a pas lieu d'augmenter outre mesure le poids des volants, car il en résulterait une flexion marquée de l'arbre et des erreurs dans les mesures.

Le diamètre de l'arbre est de 30 mm, ce qui donne à 2 000 t : m, une vitesse linéaire de 3,14 m : sec, double environ de celle qui est utilisée normalement dans les paliers, mais qu'on rencontre parfois dans des machines spéciales.

L'appareil permet de se rendre compte de la façon dont se comporte une huile aux différentes vitesses.

Il importe de faire l'essai seulement lorsque la température a atteint un régime d'équilibre, car le coefficient de frottement varie beaucoup avec la température.

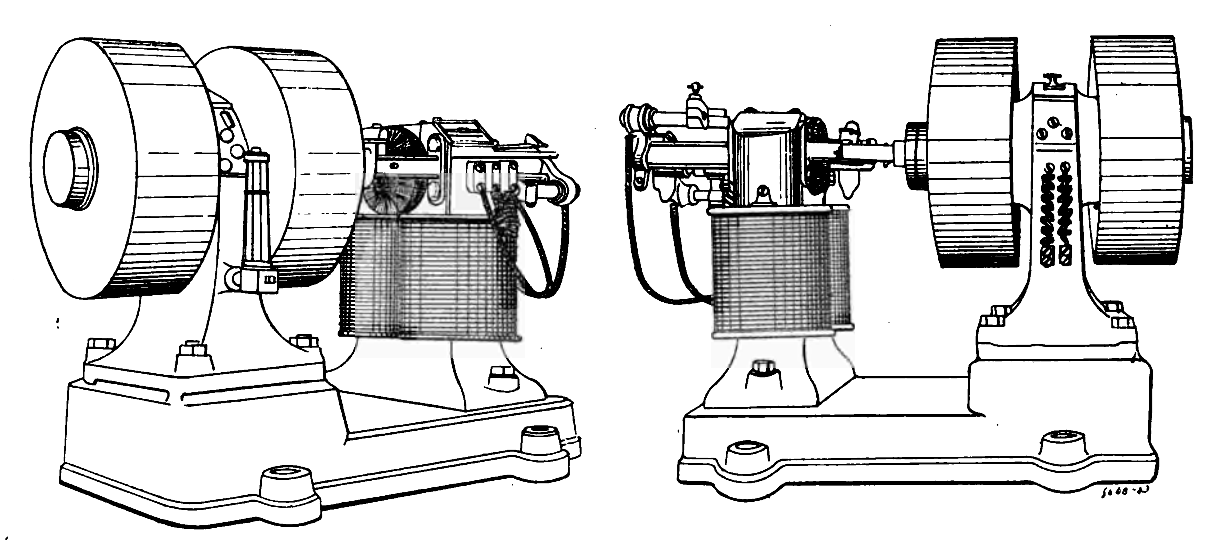


Fig. 1 et 2.

Pour cela, on peut faire tourner l'appareil jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint, ce qui arrive au bout d'une heure environ, comme le montre la figure 3. Pour économiser du temps, on a disposé au milieu du réservoir d'huile un serpentin en cuivre, dans lequel on peut faire circuler de l'eau chaude, ce qui permet d'obtenir le régime de température en dix minutes.

Pour comparer plusieurs huiles, on opère de la façon suivante : On emplit l'appareil avec l'huile à étudier (environ 0,3 litre) ; on met en route avec le moteur électrique à une vitesse comprise entre 1 800 et 2 000 t : m, on chauffe l'huile par circulation d'eau, jusqu'à la température de 40° environ, et on découple le moteur. Ce dernier est disposé de telle sorte que l'attraction magnétique tend à éloigner les deux parties du manchon d'accouplement, qui sont maintenues en place par un verrou placé du côté du palier opposé du moteur et que l'on enlève pour provoquer la séparation.

On note l'instant du débrayage et l'instant de l'arrêt définitif, ce qui donne le temps nécessaire pour l'arrêt 1 à partir de la vitesse au moment du débrayage qui a été mesurée aussi.

On nettoie l'appareil avec de la benzine et un courant d'air ; on emplit avec la seconde huile et on opère de même.

Si on désigne par r_1, r_2 et r_n les coefficients de frottement cherchés, par T_1, T_2, T_n les durées d'amortissement à partir de la même vitesse initiale, on a

$$\frac{r_1}{\frac{1}{T_1}} = \frac{r_2}{\frac{1}{T_2}} = \ldots = \frac{r_n}{\frac{1}{T_n}}$$

Pour étudier une sorte d'huile, il faut aussi constater : 1° qu'elle n'est pas acide, ce qu'on fait en plaçant dans une cuvette plate contenant

l'huile à étudier, une plaque de cuivre bien polie, qui plonge seulement partiellement dans l'huile, et doit rester aussi brillante dans ses deux parties ; 2° qu'elle n'a pas tendance à de-

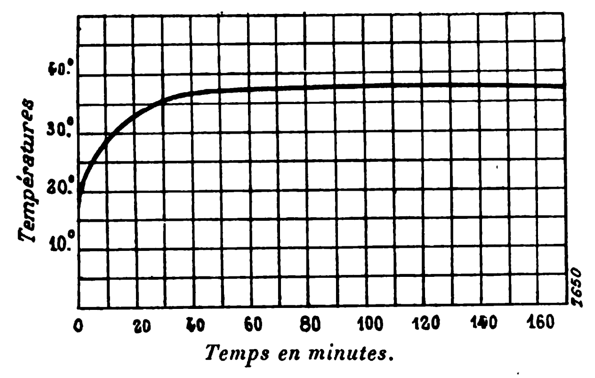


Fig. 3.

venir résineuse ; pour faire cette dernière vérification, on met un peu d'huile entre deux plaques de fer polies et on abandonne l'ensemble à l'air libre ; au bout de quelque temps on doit pouvoir toujours déplacer aussi facilement les plaques l'une par rapport à l'autre, sinon c'est une preuve que l'huile pèche par tendance à devenir résineuse.

Pour tous ces essais, y compris l'essai de frottement, il faut prélever sur chaque fourniture, environ 0,6 litre.

Lois du frottement. — Des résultats d'essais, l'auteur a déduit les lois suivantes : soit μ'' le coefficient de frottement pour une pression de 1 kg : cm², r' une constante et v la vitesse linéaire du tourillon en m : sec, on a

$$\mu'' = r'v^x,$$

l'exposant x variant avec la température, et étant égal respectivement à

0,55 0,485 0,387

pour des températures de

28° 40° 79° ;

comme les paliers fonctionnent ordinairement au voisinage de 40°, on peut admettre pratiquement la loi déjà connue :

$$\mu'' = r'\sqrt{v} ;$$

d'ailleurs cette loi n'est vraie qu'au-dessus d'une certaine valeur de la vitesse ; au-dessous le coefficient de frottement décroît quand la vitesse augmente, le minimum de la courbe étant situé entre 0,1 et 0,2 m : sec.

L'auteur avait énoncé autrefois cette propriété que le coefficient de frottement est inversement proportionnel à la pression, de sorte que la perte par frottement ne dépend pas de la pression : ceci n'est vrai que pour les paliers fermés complètement, dans lesquels la pression de l'huile se répartit uniformément sur tout le coussinet.

L'auteur a déjà établi d'ailleurs que le frottement sur l'huile en couche très mince, est inversement proportionnel à l'épaisseur de la couche : pour cela il a étudié le frottement dans un même coussinet à tube de deux arbres semblables, mais dont l'un avait un rayon de 0,03 mm

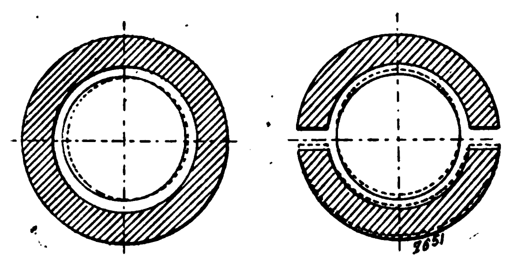


Fig. 4.

plus petit que l'autre, de telle façon que les couches d'huile étaient dans les deux essais respectivement 0,03 mm et 0,06 mm : le frottement dans le second cas s'est trouvé deux fois plus faible que dans le premier.

Cette loi explique la propriété spéciale relative aux paliers fermés : quand la charge augmente (fig. 4), la couche d'huile s'amincit sous le tourillon, mais l'huile, chassée de là, se reporte au-dessus du tourillon, de sorte que l'épaisseur moyenne et, par suite, la perte par frottement restent constantes.

Au contraire, dans un palier portant une ou deux fentes latérales (partie droite de la fig. 4), lorsque la pression augmente, l'épaisseur d'huile sous le tourillon diminue comme précédemment, mais l'épaisseur de la couche d'huile supérieure reste constante lorsqu'il s'agit d'un palier dans lequel le coussinet supérieur est maintenu sur l'arbre par son poids et celui du couvercle du palier. Dans ces conditions, quand la charge augmente, le frottement augmente.

Un troisième cas correspond aux paliers à

fente, dans lesquels le coussinet supérieur est pressé sur l'arbre au moyen de boulons ; dans ce cas, quand l'arbre s'abaisse sous l'action de la charge, l'épaisseur de la couche supérieure d'huile augmente, et l'on se rapproche un peu du premier cas.

La loi de variation du frottement avec la charge variera donc beaucoup suivant la forme et le mode de fixation des coussinets.

Quant à ce qui concerne la comparaison des différents métaux de coussinets entre eux, on voit qu'il est impossible de songer à employer des paliers fermés à cause de l'énorme influence de l'épaisseur de la couche d'huile : cette épaisseur variant entre 0,025 et 0,05 mm, en général, il faudrait pouvoir aléser les coussinets exactement au 0,001 mm près, ce qui est impossible, pour avoir des lectures suffisamment précises. Il vaudra mieux employer seulement des demi-coussinets, dans lesquels l'épaisseur d'huile ne dépendra que de la charge qu'il est facile de maintenir constante, en ayant soin, de plus,

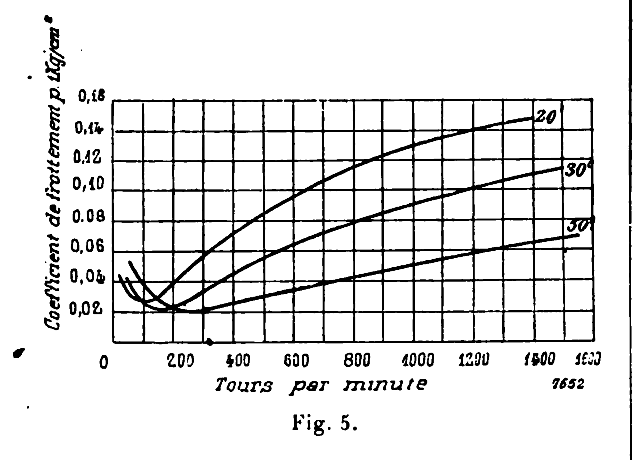


Fig. 5.

d'employer toujours la même huile On constate ainsi que la nature du métal n'a qu'une faible influence sur le frottement : il faut seulement demander aux métaux de coussinets de se comporter bien à l'usage et d'être aussi bons conducteurs que possible de la chaleur.

Les courbes de la figure 5 montrent la variation du coefficient de frottement avec la température, variation qui se fait sous la loi approximative suivante : A vitesse égale, le coefficient de frottement est inversement proportionnel à la température.

Quant à ce qui concerne la variation de ce coefficient avec la vitesse, nous avons vu qu'au-dessus de 0,2 m : sec, il augmente suivant une puissance de la vitesse ; si la vitesse décroît au-dessous de 0,2 m : sec, il reste constant quelque temps, puis augmente rapidement (fig. 6). Ce phénomène, en apparence paradoxal, s'explique de la façon suivante : le frottement

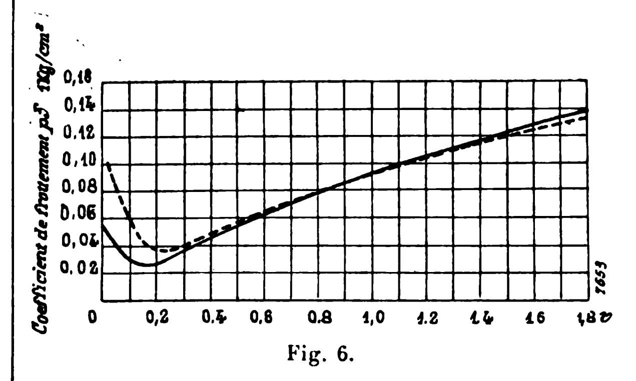


Fig. 6.

dans un palier se compose de deux parties, le frottement de l'huile sur la paroi fixe et le frottement de l'huile sur elle-même ; aux faibles vitesses le frottement de l'huile sur la paroi fixe est considérable, aux plus fortes vitesses il se forme une couche d'huile adhérente à cette paroi, et le second frottement de l'huile sur elle-même reste seul en présence.

Ce minimum du coefficient de frottement correspond au point d'inflexion de la courbe d'amor-

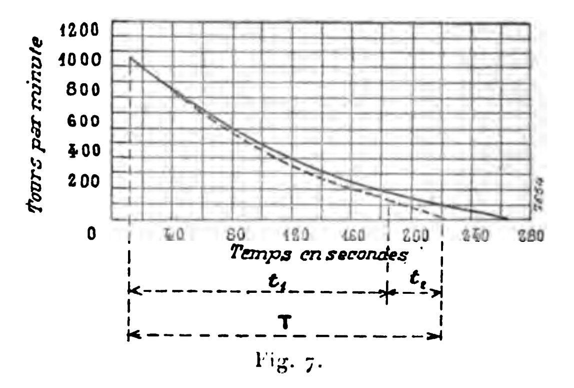


Fig. 7.

tissement de la vitesse de l'appareil (fig. 7) : le temps t_1 correspond au frottement intérieur de l'huile, le temps t_2 au frottement de l'huile sur la paroi fixe. Comme on ne peut pas observer facilement cet intervalle de temps t_1, on se contentera de mesurer T, durée totale d'amortissement, car on peut concevoir que le rapport $\frac{t_1}{T}$ reste sensiblement constant pour toutes les huiles.

Le trait pointillé de la figure 6 correspond à un essai avec un coussinet identique comme dimensions, mais d'un autre métal ; on voit que le frottement de l'huile sur elle-même est resté sensiblement le même, tandis que le frottement de l'huile sur le métal est beaucoup plus grand dans le second cas.

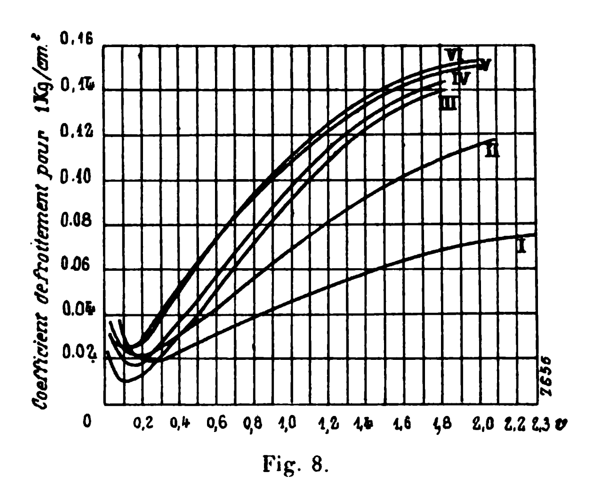


Fig. 8.

La figure 8 donne les résultats d'essais effectués sur six sortes d'huiles fournies par la maison Meurer frères, de Francfort.

Le tableau ci-dessous montre l'importance de ces essais, étant donné que le prix ne correspond pas du tout à la qualité, et que certaines huiles sont beaucoup plus avantageuses que les autres [1].

SORTE d'huile	T = DURÉE d'amortissement à partir de 1 400 t/m, en secondes	CONSTANTE de frottement r'	TEMPÉRATURE 0°	PRIX PAR KG en centimes	PRODUIT $r' \times$ prix	PRODUIT T. r'
I	560	0,05	33	40	2,00	2,80
II	385	0,068	40,8	74	5,35	2,62
III	333	0,081	40	81	6,60	2,82
IV	294	0,088	39,2	52,5	4,63	2,70
V	289	0,091	40,5	40	3,64	2,63
VI	274	0,095	42	60	5,57	2,60

A. M.

APPLICATIONS MÉCANIQUES

Résultats d'essais d'un gros moteur asynchrone, par **F. Bodensteiner**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 745, 21 août 1902.

Ces essais se rapportent à deux moteurs asynchrones à vitesse lente, destinés à la commande de pompes d'épuisement et exécutés par la maison Siemens et Halske (Usine Léopoldau à Vienne).

Les données de ces moteurs sont les suivantes :

170 HP ou chevaux sous 500 v., 60 t : m, fréquence 20,8.

Diamètre du rotor.	3120 mm
Longueur du rotor	200 —
Entrefer simple.	1,4 —
Poids du stator.	13 500 kg
Poids du rotor	9 000 —

Enroulement analogue à celui des dynamos à courant continu sur le rotor et le stator.

Moment d'inertie du rotor $PD^2 = 60\,000$ kg-m²

La figure 1 donne une coupe du moteur.

Les résultats de l'essai sont les suivants :

A vide sous 500 volts, courant primaire $J = 68$ ampères, $\cos \varphi = 0{,}0609$, glissement $g = 0{,}014$ p. 100.

[1] DISCUSSION. *M. Arnold*. La loi, suivant laquelle le coefficient de frottement est inversement proportionnel à la température, tient à ce fait que le degré de fluidité des huiles augmente en général proportionnellement à la température. Mais il est certaines limites pour lesquelles cette dernière propriété n'existe pas ; il est alors probable que la loi relative au coefficient de frottement n'est plus exacte.

M. May. Un essai très important relativement aux huiles est d'étudier la façon dont elles se comportent en service au bout d'un temps assez long : il y a donc lieu de faire les mesures du coefficient de frottement sur des huiles prélevées de temps en temps sur des paliers en fonctionnement normal, car il peut arriver que certaines huiles excellentes au début perdent plus vite que d'autres leur avantage d'un bon coefficient de frottement.

M. Haas. La façon dont une huile se comporte quant au frottement dépend de trop de conditions pour qu'un simple essai permette d'en déduire les lois : pour bien connaître une huile, il faut l'étudier par différentes mesures chimiques et physiques beaucoup plus complexes.

Dans le cas où l'on veut comparer seulement entre elles des huiles, au point de vue du fonctionnement normal, on peut y arriver, sans appareil spécial, par le procédé employé par la Vacuum Oil Company, et basé sur ce fait que la température de régime atteinte par un palier d'une machine fonctionnant toujours sous la même charge et avec une même température ambiante, ne dépend que du coefficient de frottement de l'huile employée. Il suffit donc de relever cette température au moyen d'un simple thermomètre pour plusieurs huiles essayées successivement dans un même palier sous les mêmes conditions : plus la température obtenue sera considérable, plus le coefficient de l'huile sera grand.

En pleine charge sous 500 volts, J = 178 ampères cos φ = 0,88, rendement η = 92,4 p. 100, g = 4,1 p. 100.
A demi charge sous 500 volts, J = 103 ampères, cos φ = 0,75 ; η = 93,6 p. 100, g = 1,55 p. 100.
En court circuit, J = 1028 ampères, cos φ = 0,417.
Dispersion, 5,8 à 6 p. 100.

Voir aussi les courbes de la figure 2.

Dans ces moteurs, la pression du tourillon est très faible : 6,6 kg : cm² au lieu des valeurs fréquemment adoptées, 30 à 40 kg : cm². Aussi les pertes par frottement sont-elles constantes,

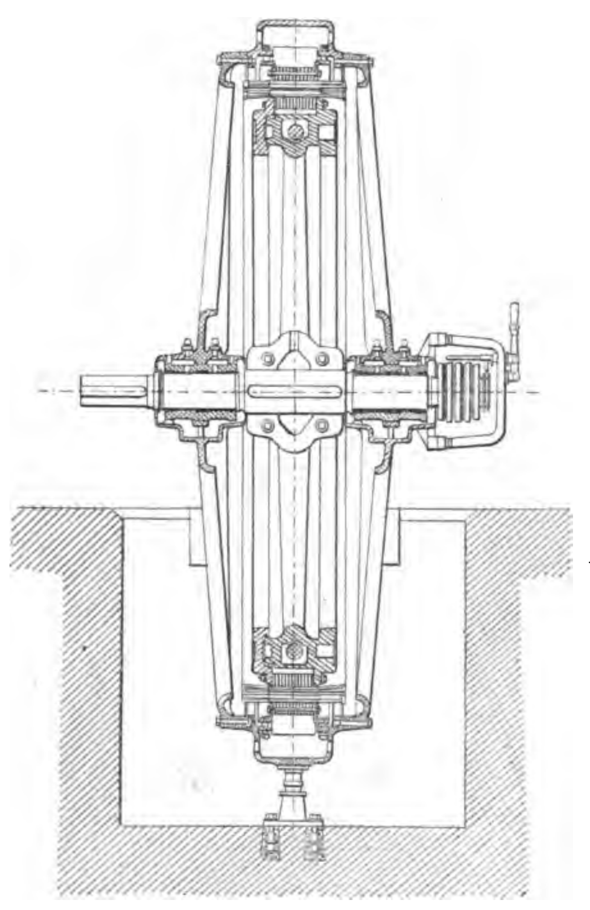


Fig. 1.

et comme, de plus, l'entrefer est grand, elles varient peu avec l'aimantation. Le coefficient de frottement est inférieur à 0,018.

La figure 3 donne les courbes de l'essai par la méthode de Benischke (étude des dépenses en watts dans le moteur pour différentes tensions aux bornes) : elles désignent respectivement :

A, marche à vide normale ;

C, pertes dans le fer calculées, avec un coefficient de Steinmetz η = 0,0023 ;

D, dépenses dans le moteur, le rotor tournant à circuit ouvert, prises aussitôt après la coupure de ce circuit :

E, dépenses dans le moteur, à rotor ouvert et arrêté ;

F, pertes par frottement ;

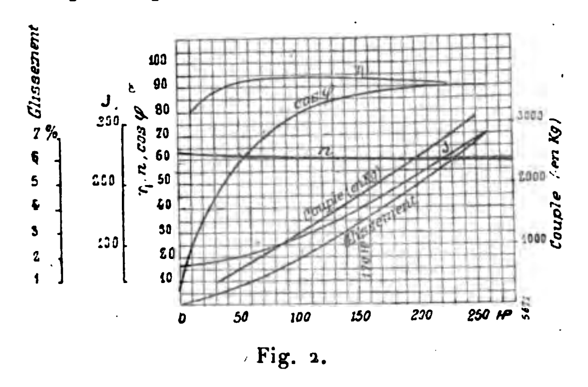


Fig. 2.

B = A — F, pertes réelles dans le fer, de 30 p. 100 environ supérieures aux valeurs calculées (C).

En prolongeant la courbe A, on obtient pour valeur du frottement un nombre de 60 p. 100 supérieur à la réalité.

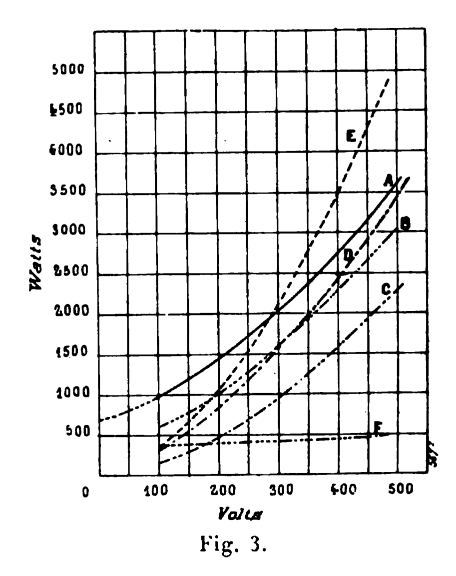


Fig. 3.

On remarquera aussi deux particularités intéressantes :

1° La courbe E (à secondaire ouvert) est beaucoup au-dessus de la courbe A de marche à vide, parce que les pertes dans le fer du secondaire arrêté et à circuit ouvert sont plus considérables que les pertes par frottements ;

2° La courbe D s'élève plus rapidement avec



l'induction que la courbe B. Ce fait est dû à ce qu'un couple appréciable s'exerce entre le stator et le rotor à circuit ouvert, comme le confirment d'ailleurs les courbes de la figure 4, qui représentent les courbes d'amortissement du moteur

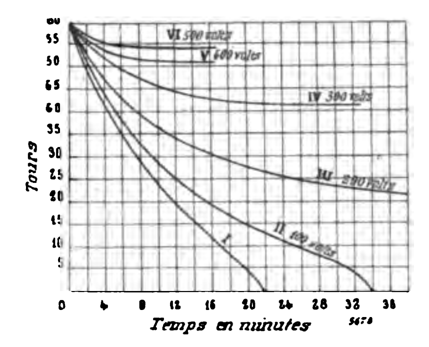


Fig. 4.

lancé à sa vitesse normale et abandonné à lui-même, excité et avec secondaire ouvert.

On constate que déjà à 200 volts, le moteur ne s'arrête plus, et que sous 500 volts il fonctionne à vide avec secondaire ouvert, sous un glissement de 11 p. 100. A. M.

TRACTION

Locomotive électrique à grande vitesse, avec moteurs fonctionnant directement sous une tension de 10000 volts, par **Walter Reichel**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 685, 7 août 1902.

Les essais entrepris dans la fin de l'année 1901 avec les locomotives électriques à grande vitesse des deux maisons allemandes l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft (1) et Siemens et Halske (2), ont permis d'atteindre, en particulier avec la seconde locomotive, une vitesse de 160 km : h, avec un succès complet quant à ce qui concernait la locomotive ; malheureusement, la voie n'était pas suffisamment solide et c'est ce qui a empêché d'augmenter la vitesse et d'atteindre 200 km : h, vitesse pour laquelle étaient calculées les voitures : ces essais seront repris prochainement, dès que les travaux de consolidation de la voie en cours d'exécution seront terminés.

Cette énorme fatigue de la voie a montré la nécessité de diminuer autant que possible les masses en jeu ; c'est ce qui a conduit l'auteur à proposer la construction d'une locomotive avec moteur fonctionnant directement sous 10 000 volts, d'où résulte la suppression des transformateurs et par suite un allègement notable de la voiture.

Dans le but d'essayer pratiquement ces moteurs à haute tension, la maison Siemens et Halske a construit une seconde locomotive, étudiée seulement pour une vitesse de 100 km : h, et dont nous allons décrire rapidement les parties les plus intéressantes.

La locomotive est à deux bogies, comportant chacun deux essieux et un moteur d'une puissance maximum de 400 chevaux, sous 885 t : m, à la fréquence 50.

Les roues ayant un diamètre de 1 250 mm, cela conduirait à une vitesse de 200 km : h environ ; pour ramener la vitesse à la valeur 100 km : h, on a dû intercaler un train d'engrenages cylindriques, de rapport égal à la moitié environ : le moteur est établi de façon à permettre l'accouplement direct, ou d'autres rapports de réduction, suivant la vitesse à obtenir. La locomotive n'est pas destinée à porter des voyageurs, ce qui évite les frais, inutiles pour une voiture d'essais, d'un aménagement fort coûteux (fig. 1).

1° Disposition mécanique de la locomotive. — Toutes les parties de la voiture sont en fer. La caisse supérieure repose sur deux bogies, portant chacun un tourillon semblable à celui de la voiture décrite dans l'article précédent (fig. 2, 3 et 4). Les deux bogies ont un écartement de roues de 3,25 m et la distance de leurs tourillons centraux est 6,25 m. Le châssis d'un bogie est constitué par des fers laminés ordinaires, solidement entretoisés par des traverses et des fers cornières. Les longerons du châssis sont formés de deux fers à U, séparés par les ressorts à feuilles, qui constituent la suspension du châssis. De plus, le support de l'axe ou tourillon central est encore suspendu par rapport au châssis par l'intermédiaire d'autres ressorts à feuilles, qui sont placés entre ce support et les deux traverses médianes ; à l'extrémité de ces traverses se trouvent des ressorts à boudin, pour amortir le roulis de la caisse.

Chaque bogie porte un cylindre de frein à air comprimé (12 pouces) et un réservoir auxiliaire

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXX, p. 89, 13 janvier 1902.

(2) Voir dans *L'Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 7, 5 avril 1902 et numéros suivants, une description complète de a locomotive à grande vitesse Siemens et Halske.

à air ; le piston du frein se meut verticalement et attaque par une traverse les leviers d'angle commandant les sabots de chaque essieu ; il y a huit sabots de frein. Sous une pression de 4 atmosphères, on peut ainsi freiner 90 p. 100 du poids total ; un frein à main permet d'agir sur la moitié des essieux.

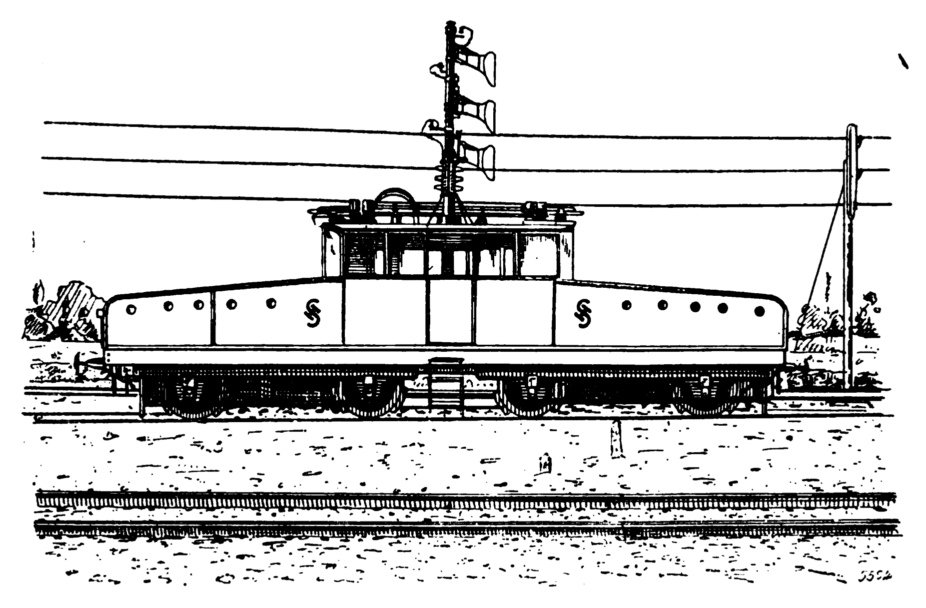


Fig. — Vue d'ensemble de la nouvelle locomotive à grande vitesse de Siemens et Halske avec moteurs fonctionnant directement sous une tension de 10 000 volts.

La caisse supérieure, longue de 12,50 m et large de 2,80 m, se compose de 3 parties, les deux extrêmes très basses et inclinées, de 1,20 m de hauteur, munies de couvercles qu'on peut soulever, la partie centrale (4 × 2,8 × 2,3 m), contenant les appareils de manœuvre et servant de cabine pour le mécanicien.

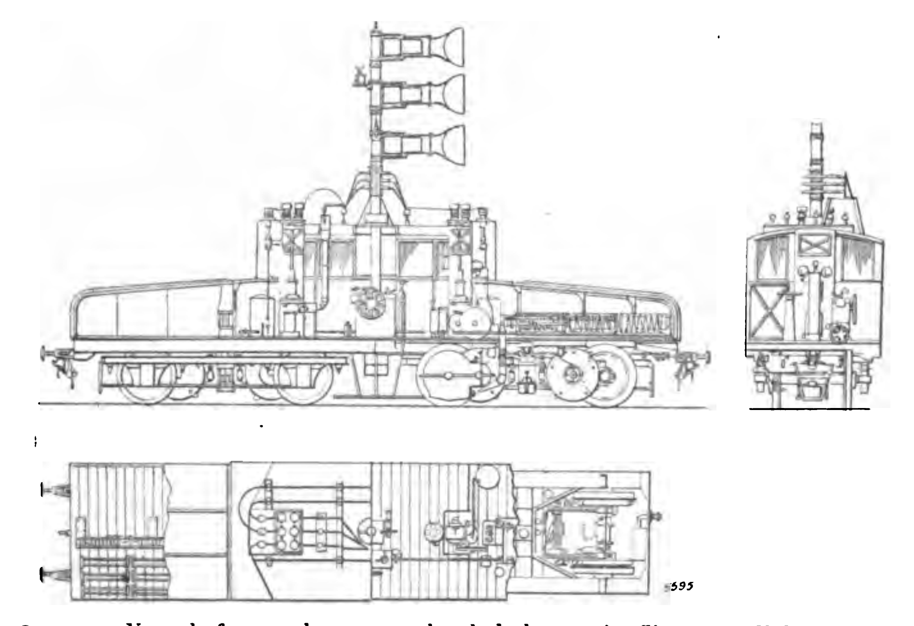


Fig. 2, 3 et 4. — Vues de face, en bout et en plan de la locomotive Siemens et Halske à 10 000 volts.



La partie centrale est pourvue de larges fenêtres vitrées ; on y accède par deux portes latérales, situées exactement au milieu de la voiture. Dans les deux parois avant et arrière de la voiture sont ménagées deux cheminées de 0,90 × 1,10 m, pour le passage des câbles et des interrupteurs principaux ; l'axe vertical qui supporte les archets de prise de courant se trouve exactement au centre de la voiture et de la cabine. Le plancher est constitué par des madriers en bois et une mince tôle de fer ; le toit par des tôles et des fers cornières suffisamment

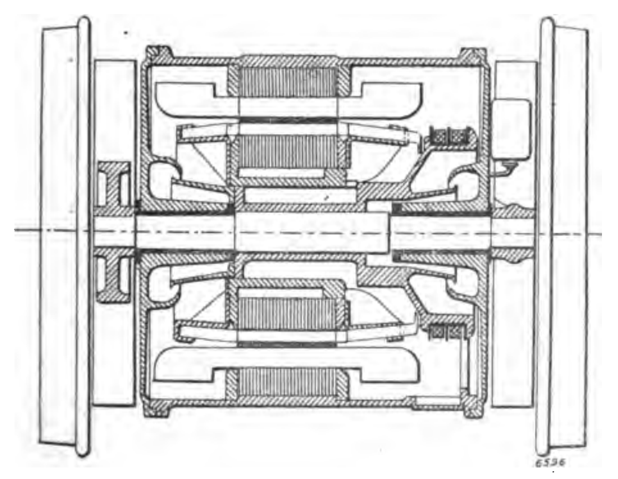


Fig. 5. — Coupe par l'axe du moteur.

solides pour porter les isolateurs, qui supportent les câbles d'amenée et de distribution du courant.

Le poids de la voiture, non compris celui de l'équipement électrique, est 24 tonnes ; le poids de ce dernier, 40 tonnes.

2° Équipement électrique. — a. *Moteurs*. — Le moteur est représenté en coupe dans la figure 5 ; pour utiliser le mieux possible la place disponible entre les roues, les paliers sont venus de fonte avec les flasques latéraux et sont situés à l'intérieur de ces flasques, occupant ainsi la place laissée libre autour de l'arbre par les enroulements du stator. Ils sont très longs et, pour qu'ils soient également chargés, on a disposé un pignon denté à chaque extrémité de l'arbre, ce qui répartit ainsi symétriquement l'effort résistant. Les deux paires d'engrenages travaillent d'ailleurs dans des conditions toutes spéciales de pression sur les dents et de vitesse périphérique. La vitesse périphérique est en effet 18 m : sec ; les nombres de dents respectifs 69 et 147 ; la largeur des roues 100 mm. A cette vitesse, le graissage par barbotage dans un carter rempli d'huile ou de graisse consistante ne suffit plus : on y a substitué un graissage par huile projetée sous pression en plusieurs jets, au point d'attaque des dents dans le sens du mouvement : une pompe puise sans cesse l'huile dans les carters, la monte dans un réservoir sous une pression de 5 cm de mercure et, de là, l'envoie par l'intermédiaire d'un robinet dans l'un des tubes qui pénètrent dans le carter, suivant le sens conve-

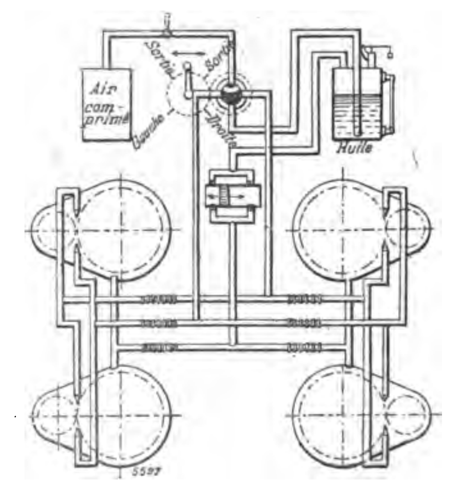


Fig. 6. — Schéma de la circulation d'huile.

nable : la figure 6 donne le schéma de la circulation de l'huile.

Le carter des engrenages permet d'employer l'un des deux rapports de réduction 1 : 2 ou 1 : 3,5 ; avec ce dernier, un graissage ordinaire serait suffisant.

Le moteur repose d'une part sur l'essieu des roues, par des paliers montés sur une patte boulonnée sur le bâti du moteur, et d'autre part sur des pattes reliées au châssis du bogie par l'intermédiaire de ressorts (suspension par le nez des moteurs de tramways) (fig. 7 et 8).

Les coussinets de l'arbre du moteur sont en bronze avec métal antifriction : ils ont une portée de 300 mm et un alésage de 100 mm.

L'entrefer est compris entre 1,5 et 2 mm ; l'anneau de fer du stator est fixé dans l'intérieur d'un bâti cylindrique de 990 mm d'alésage. Le rotor est emmanché sur l'arbre par l'intermédiaire d'un manchon spécial destiné à permettre au besoin l'accouplement direct, et portant deux

bagues isolées ; sur ces bagues frottent des balais de charbon qu'on peut surveiller par trois ouvertures percées dans le bâti.

Les paliers sont lubréfiés à l'huile par des graisseurs à mèche.

La partie la plus basse du moteur se trouve à une distance de 100 mm au-dessus de la surface supérieure des rails.

Le stator porte l'enroulement primaire à haute tension : il comporte, sur un diamètre intérieur de 68 cm et une largeur de 30 cm, 72 dents ouvertes, contenant chacune 67 fils. Les bobines sont faites sur gabarit, avec une section rectangulaire très aplatie ; elles sont placées dans des tubes isolants et chaque section comprend toujours un tube long et un tube plus court (fig. 9). L'enroulement a été essayé sous une tension de 22 000 volts.

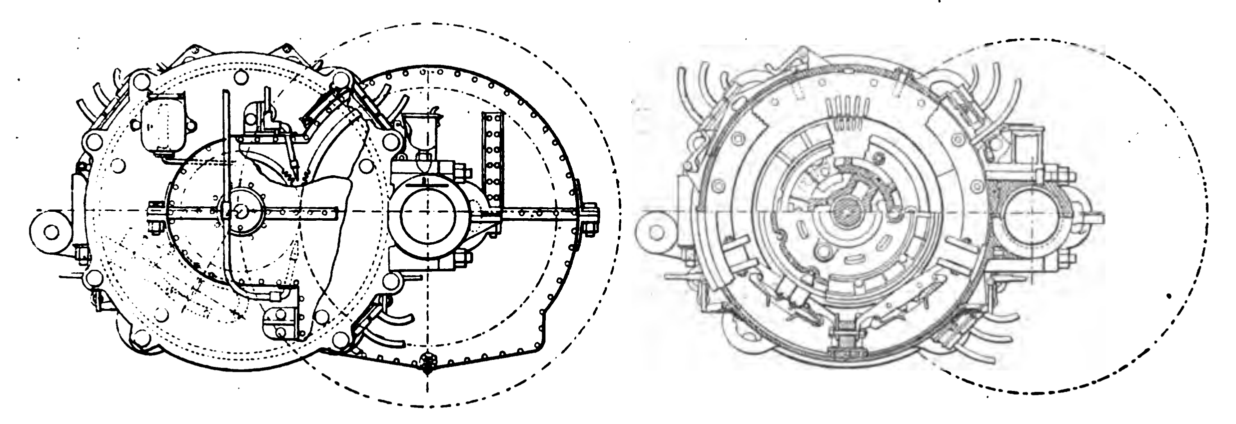


Fig. 7 et 8. — Vue de face et coupe perpendiculaire à l'axe du moteur. — Détails de la suspension et du carter.



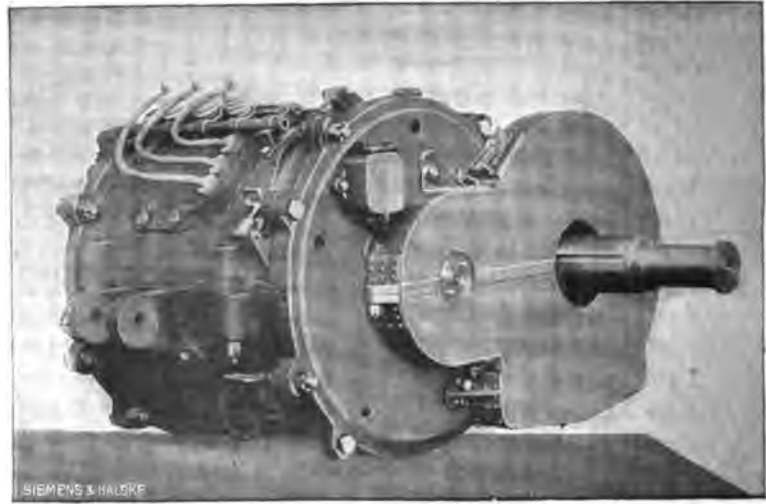


Fig. 9 et 10. — Photographies du stator et du moteur à 10 000 volts.

Le rotor comporte 90 encoches à demi fermées, avec un enroulement série en barres, à raison de 4 barres par trou : la tension aux bornes de l'enroulement secondaire atteint 700 volts au démarrage.

Les enroulements sont connectés en étoile : la figure 10 représente la vue extérieure du moteur et indique la façon dont se fait l'entrée des câbles primaires à haute tension.

Les trois extrémités de l'enroulement secondaire sont connectées, l'une au bâti, les deux autres aux deux bagues du rotor.

Le poids du moteur complet est 4 090 kg.

Les moteurs ont été essayés au frein à l'usine



de Charlottenburg et le bon fonctionnement du graissage des engrenages soigneusement vérifié. La figure 11 donne les courbes caractéristiques de ces moteurs relevées expérimentalement.

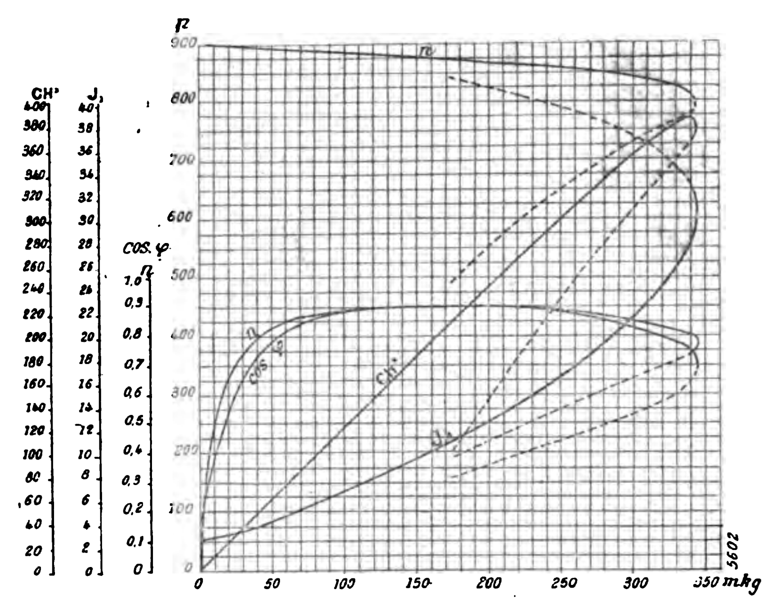


Fig. 11. — Courbes caractéristiques du moteur.

b. *Appareils de mise en route et de réglage.* — La figure 12 montre le schéma de montage de l'ensemble de l'équipement électrique : à gauche et à droite, deux interrupteurs principaux, servant en même temps à assurer le changement de sens de marche, par interversion de deux phases ; au bas de la figure, on voit les résistances, et l'appareil de manœuvre de ces résistances à intercaler dans l'induit représenté par une roue à main.

Les deux interrupteurs principaux sont commandés par l'air comprimé, fourni par une pompe accouplée à un moteur de 110 volts, qui reçoit son courant d'un petit transformateur ; ils sont d'ailleurs, ainsi que les coupe-circuit, du type décrit dans un précédent article [1].

La cabine du mécanicien comprend, sur la table placée au milieu, à gauche l'interrupteur de la pompe à air, à droite le robinet de manœuvre des interrupteurs principaux et le robinet du frein Westinghouse. Montée sur axe horizontal en-dessous de la table se trouve la roue de commande du démarreur (appareil de manœuvre des résistances à intercaler dans l'induit).

Un volant à axe vertical situé à gauche de la colonne centrale commande le frein à main ; l'arbre porteur des archets de contact qui se trouve dans cette colonne peut être appliqué sur la ligne ou éloigné au moyen d'une simple poignée de manœuvre.

Sur la cheminée de passage des câbles se trouvent un ampèremètre et un voltmètre et le réservoir à huile avec un indicateur de niveau et un manomètre.

3° Essais de traction. — Les essais ont été faits du 17 au 26 juin, sur le chemin de fer militaire de Zossen, sous des tensions de 6000 à 10000 volts, des fréquences de 25 à 47,5 et des vitesses de 55 à 100 km : h. On a atteint 105 km : h en remorquant une voiture de 1re et 2e classe pesant 31 tonnes : les engrenages et le moteur se sont parfaitement comportés ; la dépense était de 260 kilowatts, ce qui correspond à environ 280 chevaux à la jante des roues.

Ces essais ont montré nettement que l'application du moteur à très haute tension directe à

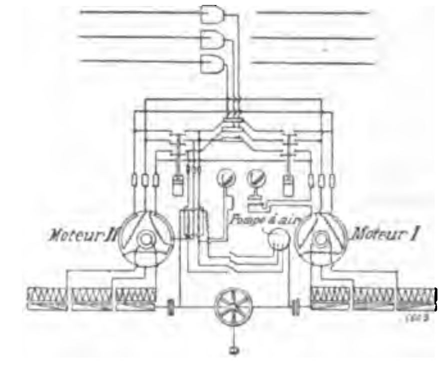


Fig. 12. — Schéma des appareils de mise en route et de réglage.

la traction est absolument réalisée, ce qui constitue un grand pas en avant dans l'étude des chemins de fer électriques à long parcours.

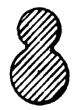
L'auteur fait d'ailleurs remarquer, en terminant, que si l'on s'en tient, pour le moment, aux

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXXI, p. 102 et suivantes.

vitesses obtenues à Zossen, de 160 km : h sous 35 périodes et 8 000 volts, une voiture automotrice de 76 tonnes à moteurs à haute tension, remorquant une deuxième voiture à 6 essieux, pesant 42 tonnes, avec un nombre total de 100 voyageurs, nécessite ainsi un poids de 1 180 kg par voyageur, alors qu'avec la traction à vapeur, il faudrait compter au moins 96 tonnes pour la locomotive et son tender et 84 tonnes pour deux remorques à 6 essieux, soit par personne 1 800 kg, ce qui montre nettement l'avantage de l'équipement électrique. A. M.

Le câble de trôlet profilé : fixation, jonction et protection, par **Max Schiemann**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 842, 18 septembre 1902.

C'est en Amérique qu'on a tenté, pour la première fois et avec succès d'ailleurs, de substituer au fil de trôlet à section circulaire des conducteurs profilés, à section en 8 plus ou moins déformés, comme les représentent les figures 1 à 4. Leur emploi tend à se généraliser



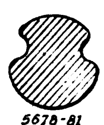



Fig. 1 à 4.

en Europe également. Leurs qualités communes peuvent se résumer ainsi : fixation facile aux appuis, car il suffit de les serrer, par la boucle supérieure, au moyen de pinces ou mâchoires vissées sur les supports d'isolateurs ou venues de fonte avec eux ; grande sûreté de fonctionnement ; répartition meilleure du courant sur les réseaux à grand trafic ; rigidité absolue dans le sens horizontal aussi bien que dans le sens vertical, ce qui évite les coudes trop prononcés dans les courbes ; suppression des soudures, d'où résulte une surface de contact toujours unie pour la roulette ou l'archet du trôlet. On pourrait craindre que ces fils une fois posés ne se prêtent trop facilement à la torsion ; il n'en sera rien si on a soin de les dérouler complètement avant leur mise en place. Parmi les quatre types indiqués plus haut, dont la section peut varier entre 65 et 100 mm², il y a encore une sélection à faire ; nous rejetons, *a priori*, le type 1 à boucles dissymétriques, pour lui préférer le type 2 à boucles très aplaties. Celui-ci présente une rigidité considérable dans le sens latéral ; le passage des parties droites aux parties courbes, ou inversement, s'opère avec une grande douceur ; cette qualité le recommande tout spécialement pour le trôlet à roulette, auquel il offre une large surface de contact. Si le conducteur, cependant, venait à se tordre, on voit que les arêtes latérales occasionneraient une usure rapide du frotteur ; on prend alors la précaution d'arrondir ces arêtes ou, mieux encore, on donne à la surface de contact une forme

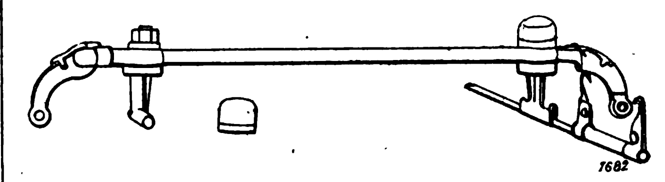


Fig. 5.

un peu bombée comme en figure 3 ; mais c'est le type 4 qui satisfait le mieux à tous les desiderata ; il dérive d'un conducteur circulaire dans lequel on aurait pratiqué deux rainures longitudinales. Nous décrirons les dispositifs de fixation, jonction et protection, spécialement étudiés pour ces divers profils.

1. *Fixation*. — Elle s'obtient au moyen d'une chape faisant corps avec la ferrrure de l'isolateur et munie intérieurement de deux rainures longitudinales ; on y introduit le champignon supérieur du conducteur et on remplit les vides laissés, de chaque côté et en dessous du champignon, par les rainures du conducteur, d'une part, et celles de la chape, d'autre part, à l'aide d'une cheville en forme d'épingle à cheveux, dont les bouts sont ensuite redressés contre la chape ; après l'opération, l'épingle a pris la forme du cavalier d'Ampère, qui sert à démontrer la répulsion d'un courant sur lui-même. Ce dispositif supprime tout jeu latéral et soutient le conducteur d'une façon très sûre, tout en lui permettant un déplacement longitudinal, soit pour le réglage, soit sous l'action des variations de la température. La figure 5 représente une installation pour deux fils ; à gauche, chape seule ; à droite, chape avec fil et, au premier plan, le dispositif de protection dont il sera question plus loin.

2. *Jonction*. — Pour réunir deux tronçons, on engage leurs abouts dans un manchon, dont les figures 6, 7 et 8 donnent le détail. Des vis B serrent les extrémités à joindre contre la paroi

inférieure du manchon taillée comme les mâchoires d'un étau ; au préalable on a eu soin de creuser, dans les câbles, des petites cavités dans lesquelles viennent se noyer les extrémités des vis. Extérieurement le manchon se substitue au fil de trôlet sur toute la longueur du joint. Ce manchon convient tout aussi bien pour l'ancrage des conducteurs aux points terminus.

3. *Protection*. — Un tube de caoutchouc fendu sur toute sa longueur coiffe le champignon supérieur du fil contre lequel il est pressé au moyen d'un ressort en acier sur une distance de 1 m (fig. 9 et 10); ce même ressort est appliqué à la jonction de deux tubes de caoutchouc. En dernière analyse, on constitue, sur le trajet à protéger, un conducteur isolé ordinaire et dénudé seulement à la partie inférieure. Le ressort en acier peut aussi aider à soutenir le

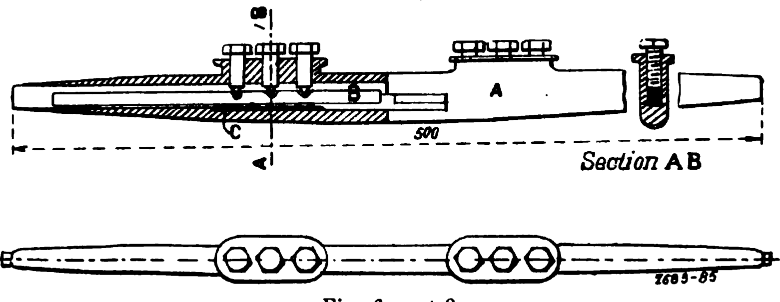


Fig. 6, 7 et 8.

câble ; c'est le dispositif auquel nous faisions allusion plus haut et qui est représenté à droite de la figure 5. Le prix du mètre courant de ce système de protection varie entre 0,50 et 0,60 fr.

La fabrication et le montage des conducteurs

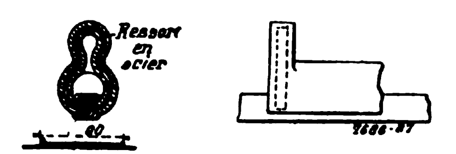


Fig. 9 et 10.

profilés, conclut l'auteur, n'entraînent pas plus de dépenses que les conducteurs ronds et leurs avantages les recommandent tout spécialement pour les lignes de traction. T. P.

MESURES

Appareil pour vérifier ou régler la sensibilité d'un enregistreur, par **Rudolf F. Pozdèna.** *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXXIII, p. 905, 9 octobre 1902.

L'auteur, qui est membre de la commission d'étalonnage de Vienne, s'est proposé de construire un appareil permettant de contrôler à chaque instant la sensibilité d'un enregistreur Foucault ou de le régler rapidement à une sensibilité déterminée. Le principe de sa méthode est exposé schématiquement dans la figure 1. Les lames parallèles L et L_1 sont connectées chacune à l'un des pôles d'une batterie B ; entre les lames est fixée une règle AA sur laquelle glisse un curseur C. Celui-ci porte deux tiges isolées entre elles auxquelles on adapte des ressorts ff_1 terminés par des couteaux de contact cc_1 qui frotteront sur les lames L et L_1. Les ressorts sont reliés électriquement au chronographe. Normalement, les extrémités de L

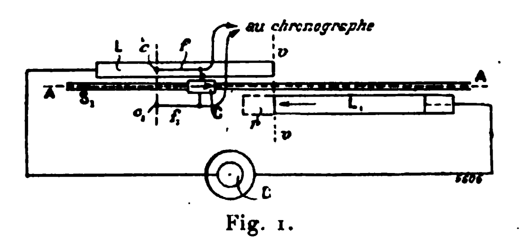


Fig. 1.

et L_1 sont sur une même perpendiculaire vv à leur direction commune ; dans cette position, si le curseur se déplace de gauche à droite sur AA, il ne passe pas de courant dans l'électro du chronographe ; mais si on avance L_1 d'une quantité r (lue sur une échelle divisée) dans la direction de la flèche hachurée, le curseur entraînant avec lui les couteaux cc_1 fermera le circuit de la batterie pendant tout le temps que les frotteurs mettront à franchir l'intervalle commun r. Soit alors n la vitesse du curseur, r le déplacement donné à lame L_1, la durée du contact sera : $\frac{r}{n}$. En faisant n très grand et r très

petit, on voit qu'on pourra réduire la durée du contact jusqu'à la plus faible valeur compatible avec le fonctionnement de l'enregistreur.

Une réalisation simple de cette idée consisterait à utiliser le déplacement d'un écrou sur sa vis; l'auteur a, du reste, essayé un certain nombre de dispositifs et s'est définitivement arrêté au suivant représenté par la figure, 2 où on a conservé les mêmes lettres aux parties qui correspondent au premier schéma. Une vis sans fin *w* dont l'axe tourne dans les paliers AA avec

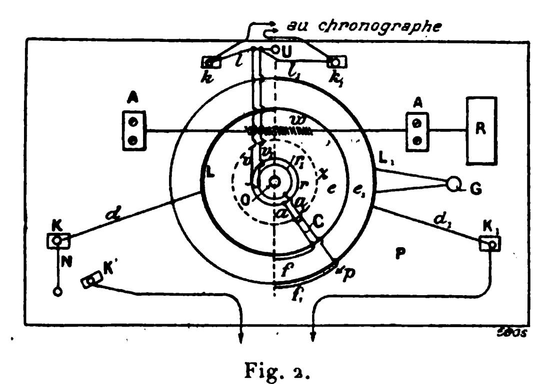


Fig. 2.

graisseur à bague est entraînée directement ou à l'aide de la poulie R montée en porte à faux par un électromoteur. Elle engrène avec une ronde dentée *z*, mobile autour d'un axe vertical implanté dans la plaque qui soutient tout le système et rigidement accouplée à un bras C. Celui-ci porte les deux ressorts ff_1 isolés entre eux et munis des couteaux de prise de courant. Les deux ressorts sont prolongés par les fils aa_1 qui aboutissent à des bagues rr_1, isolées et concentriques à l'arbre, sur lesquelles deux balais vv_1 recueillent le courant pour le conduire par l et l_1 aux deux bornes kk_1 en relation avec le solénoïde du chronographe. U est un support pour les fils vv_1, ll_1. Les couteaux frottent sur les deux lames circulaires LL_1 qui ont juste une demi-circonférence et sont montées sur des disques en ébonite ee_1 concentriques à l'arbre O. Celui des disqnes correspondant à la lame L_1 est mobile au moyen de la manivelle G et placé au-dessous de l'autre. On le fait tourner dans le sens de la flèche *p*; le déplacement est donné par l'échelle qu'il porte et un vernier tracé sur le disque fixe. Le mouvement de la roue dentée a lieu en sens inverse des aiguilles d'une montre.

Le degré de précision de l'appareil dépend tout d'abord du réglage des couteaux qui doivent se trouver dans un même plan vertical passant par l'arbre O; à cet effet, le ressort f_1 porte une entaille qui lui permet de coulisser légèrement : une fois ajusté, on le serre avec une vis. La source du courant est reliée aux bornes $K_1 K'$. On ferme le circuit au moyen de l'interrupteur N. Il suffirait ensuite de réunir K_1 à L_1; K à L; mais la manœuvre de l'appareil demande quelques précautions. On connecte L_1 à un anneau métallique solidaire de l'arbre O, lequel est ensuite réuni à K_1 par le conducteur d_1 courant sous la table. De même un conducteur isolé part de L à travers le disque d'ébonite, pénètre dans l'arbre et descend suivant son axe qui est perforé pour aller rejoindre la borne K par *d*.

Chaque tour de la vis sans fin fait avancer la roue d'une dent. Supposons que la graduation de L_1 soit telle que l'intervalle entre deux traits consécutifs corresponde à la largeur d'une dent; si alors on déplace L_1 de 5 divisions, nous pouvons dire que la durée du contact sera égale au temps qu'il faut à la vis pour exécuter 5 tours. La vitesse de rotation de la vis étant connue, en poussant L_1 peu à peu jusqu'à ce que l'électro fonctionne, on déduira la sensibilité de l'enregistreur du nombre de divisions mesurant le déplacement. Au contraire, si on désire l'ajuster à une sensibilité déterminée à l'avance, c'est-à-dire qu'il inscrive dans un temps donné, on déplacera L_1 de la quantité nécessaire (facile à déterminer puisqu'on connaît la valeur des divisions et la vitesse de rotation) et on agira sur l'électro jusqu'à ce qu'il marque un signe sur la bande de papier.

L'ajustement des ressorts ff_1 a lieu de la manière suivante : On avance L_1 de la plus petite quantité lisible sur le vernier et on fait mouvoir le système à la main, de sorte que le passage des couteaux sur les lames soit très lent. Si l'électro reste immobile, le réglage est bon; dans le cas contraire, on change la position de f_1 à l'aide du dispositif indiqué plus haut.

Un appareil, construit d'après ce principe, fonctionne depuis quelque temps au Laboratoire d'étalonnage de Vienne. La roue a 120 dents; la vis fait 20 tours à la seconde, soit $\frac{1}{20}$ de seconde pour une largeur de dent. La lame L_1 ne porte que 60 divisions principales correspondant à la moitié du nombre des dents de la roue; mais

chaque intervalle est encore subdivisé en 3, ce qui donne $\frac{1}{60}$ de seconde et avec un vernier au 1/20, on arrive à évaluer le 1/1200 de seconde. La précision de la mesure du temps dépend non seulement du nombre des dents de la roue et du nombre des tours de la vis, mais encore de la construction des différents organes qui constituent l'appareil. Pour contrôler la régularité de marche du moteur, on peut procéder de la

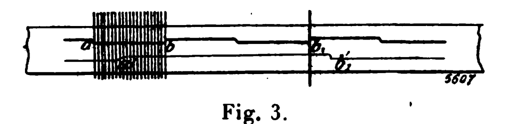


Fig. 3.

façon suivante. On déplace le disque d'ébonite mobile jusqu'à ce que les lames L_1 et L se recouvrent exactement; puis on lance le moteur et on fait décrire aux couteaux la demi-circonférence. On recueille alors, sur le papier de l'enregistreur, le graphique de la figure 3 où l'intervalle *a b*, inscrit par le mouvement d'horlogerie, correspond à une seconde et $a'b'_1$ à 60 dents de la roue z. Il s'agit d'exprimer $a'b'_1$ en fonction de ab : $a'b'_1 = a'b + bb_1 + b_1b'_1 = bb_1 + ab - a'b + b_1b'_1$. En divisant le nombre trouvé par 60, on aura le temps correspondant à un intervalle de dent; ou bien en divisant par 180, on aura la valeur d'une des divisions de la lame L_1. Pour faire cette mesure, on divise ab en 20 parties égales, dont chacune vaut, par conséquent, $\frac{1}{20}$; et comme on peut apprécier le $\frac{1}{10}$, on a une estimation à $\frac{1}{200}$ près. A titre d'exemple, l'auteur rappelle un essai exécuté par lui au laboratoire. Il a trouvé $aa' = \frac{6}{20} + \frac{4}{200}$; $b_1b'_1 = \frac{5}{20} + \frac{7}{200}$; d'où $a'b'_1 = 2\text{ sec.} + \frac{20}{20} - \left(\frac{6}{20} + \frac{4}{200}\right) + \frac{6}{20} + \frac{7}{200}$ $= 2{,}965$ sec. Un intervalle de dent correspond à $\frac{2{,}965}{60} = 0{,}0494$ sec; la roue fait $\frac{1}{0{,}0494}$ $= 20{,}24$ tours par seconde. T. Pausert.

Dispositifs pour mesures magnétiques par compensation, par **Max Corsepius**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 1005, 13 novembre 1902.

Le dispositif de l'auteur est basé sur une méthode de zéro qui offre quelque analogie avec un procédé employé dès 1887 par Swinburne et Bourne. Il se distingue par son exactitude et se recommande tout particulièrement aux industriels qui peuvent l'installer à demeure et l'avoir toujours prêt à fonctionner. Il comprend trois parties essentielles (fig. 1) : un circuit magné-

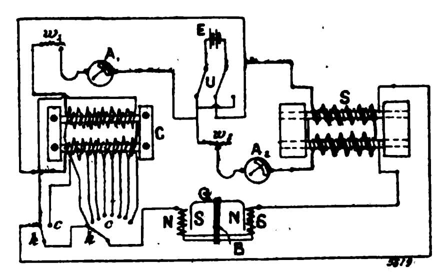


Fig. 1. — Schéma du compensateur Max Corsépius pour mesures magnétiques.

tique fermé S dont fait partie le fer à essayer, un indicateur de courant G, et le compensateur C qui préalablement étalonné donne $\mathfrak{B}$ directement. Remarquons tout de suite que les deux circuits magnétiques S et C sont de même forme et rappellent le dispositif employé dans la méthode du joug.

Les deux petits barreaux du compensateur reçoivent deux enroulements, l'un primaire directement bobiné sur le fer, l'autre secondaire superposé au premier. Le fil secondaire ne présente aucune solution de continuité ; mais un certain nombre de ses points sont connectés à des plots *c* sur lesquels frottent des manettes *k* (4 par exemple, la figure n'en a que deux pour simplifier). On forme ainsi des bobines indépendantes comprenant 50, 10, 5, 1, 1/2 ou 0 spires, sur lesquelles on choisira celles qui seront susceptibles d'établir la compensation. Le courant primaire est réglé de telle sorte qu'il induise, quand on le change de sens, une force électromotrice rigoureusement proportionnelle au nombre de spires secondaires en circuit, autrement dit, il ne doit pas y avoir de dispersion, condition toujours pratiquement satisfaite. Enfin on combine la section et le nombre des spires du compensateur et de l'éprouvette pour que la valeur de l'induction $\mathfrak{B}$ soit donnée directement d'après la position des manettes.

La marche d'une expérience est la suivante. Le courant continu de la source E (fig. 1) est lancé dans les primaires de S et C ; au moyen du commutateur U, on renverse le sens du courant en même temps dans les deux dérivations et on

observe l'impulsion produite sur le galvanomètre G inséré dans les circuits secondaires de l'éprouvette et du compensateur qui sont en opposition. On agit sur les manettes k jusqu'à ce que l'aiguille du galvanomètre reste au zéro. Les intensités des courants sont données par les ampèremètres A_1 et A_2 et réglées au moyen des rhéostats w_1 et w_2. On peut aussi opposer les spires du secondaire du compensateur les unes aux autres ; on augmente ainsi l'échelle de réglage.

La qualité essentielle à exiger du galvanomètre est que son équipage mobile ait une durée d'oscillation suffisamment longue ; il est, en effet, presque impossible d'obtenir que les actions magnétisantes des courants primaires, d'une part, et les courants induits, d'autre part, se manifestent rigoureusement au même instant; avec un équipage de grande inertie, il est bien plus facile de constater l'égalité des deux charges opposées. Néanmoins, il ne faut pas s'attendre à une immobilité absolue du galvanomètre ; on prendra donc la moyenne des lectures de part et d'autre de la position d'équilibre. Ces oscillations avaient influencé les premiers essais de l'auteur ; mais il est parvenu à les réduire à leur minimum en fermant le circuit magnétique des éprouvettes par deux blocs de fer analogues à ceux du compensateur. Dans la figure 1, G représente une vue en plan de l'équipage mobile, dont le système astatique est constitué par deux aiguilles aimantées, recourbées et mobiles dans un plan horizontal. La barrette B réunit les deux aiguilles et l'ensemble est soutenu par une suspension bifilaire. Comme on le voit sur la figure, les bouts recourbés d'un des aimants plongent dans une petite bobine, dont les spires sont coupées par les lignes de force qui vont directement d'un pôle à l'autre, ou qui s'échappent dans l'espace environnant. Ce galvanomètre qui dérive à la fois du galvanomètre Desprez-d'Arsonval et du galvanomètre Rosenthal, joint à une grande sensibilité une robustesse à toute épreuve.

En terminant, l'auteur insiste encore sur la précision et la simplicité de son appareil qui permet d'effectuer rapidement tous les essais magnétiques relatifs aux dynamos.

T. Pausert.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du mercredi 7 janvier 1903

Au début de la séance, le président, M. E. Harlé, rappelle que :

« Des entreprises industrielles sont en préparation, basées sur l'*emploi de la terre comme conducteur de retour dans des transports d'énergie à grande distance*. Les électriciens doivent s'en préoccuper à cause des conséquences multiples qui peuvent en découler : Progrès importants dans les applications diverses de l'électricité; répercussion dans les installations électriques de toute nature aux environs ; phénomènes d'électrolyse sur les masses métalliques situées dans la zone influencée.

» Dans ces circonstances, la Société fait appel à tous ses Membres pour recueillir des documents précis concernant la résistance des prises de terre, la conductibilité du sol et tous les phénomènes accessoires qui se rattachent à l'emploi de la terre comme conducteur de retour.

» Les documents les plus intéressants sont des mesures précises faites dans des circonstances déterminées. »

La Commission administrative des distributions d'énergie électrique, consultée sur l'opportunité d'accorder une autorisation de retour par la terre, a dû se récuser, faute de documents suffisants.

En conséquence, la Société Internationale des Electriciens sera reconnaissante à tous ceux qui voudront bien recueillir des documents à ce sujet et les lui faire parvenir.

M. P. Lauriol communique les résultats d'un long travail de statistique montrant quelle est la ***Répartition de l'électricité dans Paris***. Nous résumons cette intéressante étude dans le tableau suivant. Les chiffres inscrits s'appliquent :

1° A l'énergie fournie tant à la ville (immeu-



Répartition de l'électricité à Paris en 1901

Arrondissements	Quartiers N°s	Quartiers Noms	PUISSANCE installée en kw.	ÉNERGIE consommée en milliers de kw.-h.	DURÉE d'utilisation de la puissance installée, en heures.
I	1	St-Germain-l'Auxerrois	1 286	873	679
	2	Halles	1 717	1 523	887
	3	Palais-Royal	1 657	731	441
	4	Place Vendôme	1 948	743	382
II	5	Gaillon	2 301	1 346	585
	6	Vivienne	1 755	1 050	598
	7	Mail	2 483	964	388
	8	Bonne-Nouvelle	949	621	654
III	9	Arts-et-Métiers	875	386	441
	10	Enfants-Rouges	657	265	404
	11	Archives	354	120	338
	12	Saint-Avoye	256	115	451
IV	13	Saint-Merri	850	578	680
	14	Saint-Gervais	302	119	393
	15	Arsenal	271	135	500
	16	Notre-Dame	163	46	283
V	17	St-Victor	93	46	492
	»	» (Halle aux Vins)	53	25	465
	18	Jardin des Plantes	90	35	385
	19	Val-de-Grâce	306	105	342
	20	Sorbonne	655	372	568
VI	21	Monnaie	377	193	511
	22	Odéon	539	209	389
	23	Notre-Dame-des-Champs	602	196	326
	24	Saint-Germain des Prés	362	175	484
VII	25	Saint-Thomas-d'Aquin	1 083	222	205
	26	Invalides	858	171	199
	27	Ecole Militaire	383	85	222
	28	Gros-Caillou	931	225	241
VIII	29	Champs-Élysées	2 480	561	226
	30	Faubourg du Roule	2 098	460	219
	31	Madeleine	4 377	1 317	301
	32	Europe	4 391	736	168
IX	33	Saint-Georges	2 099	625	298
	34	Chaussée-d'Antin	4 988	2 836	569
	35	Faubourg Montmartre	2 987	1 824	611
	36	Rochechouart	670	335	500
X	37	Saint-Vincent-de-Paul	760	470	619
	38	Porte Saint-Denis	1 120	472	421
	39	Porte-Saint-Martin	1 295	812	627
	40	Hôpital Saint-Louis	248	128	516
XI	41	Folie-Méricourt	339	232	685
	42	Saint-Ambroise	429	124	289
	43	Roquette	118	48	403

Arrondissements	Quartiers N°s	Quartiers Noms	PUISSANCE installée en kw.	ÉNERGIE consommée en milliers de kw.-h.	DURÉE d'utilisation de la puissance installée en heures.
XI	44	Sainte-Marguerite	59	24	414
XII	45	Bel-Air	»	»	»
	46	Picpus	»	»	»
	47	Bercy	»	»	»
	»	» (Entrepôt)	132	91	692
	48	Quinze-Vingts	265	82	310
XIII	49	Salpêtrière	54	20	376
	50	Gare	4	0,16	40
	51	Maison Blanche	65	28	427
	52	Croulebarbe	151	82	540
XIV	53	Montparnasse	312	144	463
	54	Santé	3	0,88	294
	55	Petit Montrouge	171	92	535
	56	Plaisance	43	22	502
XV	57	Saint-Lambert	54	21	381
	»	» (Abattoirs)	70	218	3 117
	58	Necker	217	88	407
	59	Grenelle	238	61	256
	60	Javel	99	46	466
XVI	61	Auteuil	135	99	734
	62	Muette	729	132	181
	63	Porte Dauphine	1 895	278	147
	64	Chaillot	3 387	546	161
XII	65	Ternes	983	225	229
	66	Plaine Monceau	3 995	730	183
	67	Batignolles	545	243	445
	68	Épinettes	306	176	575
XVIII	69	Grandes Carrières	498	285	575
	70	Clignancourt	742	296	332
	71	Goutte-d'or	185	179	997
	72	Chapelle	35	50	1 426
XIX	73	Villette	235	210	894
	74	Pont de Flandre	34	24	697
	»	Pont de Flandre (Abattoirs)	102	308	3 061
	75	Amérique	16	23	1 430
	76	Combat	13	18	1 398
	»	Combat (Parc des Buttes-Chaumont)	37	65	1 754
XX	77	Belleville	»	»	»
	78	Saint-Fargeau	15	35	2 320
	79	Père-Lachaise	26	59	2 284
	80	Charonne	»	»	»

bles municipaux et éclairage des voies publiques) qu'aux autres administrations et aux particuliers par les six secteurs concédés, par le secteur municipal des Halles, par les usines municipales des Buttes-Chaumont, du Parc-Monceau, de l'Hôtel-de-Ville et du boulevard Morland.

2° Aux fournitures faites par d'autres sociétés pour éclairage de la voie publique ou d'établissements municipaux.

Ils ne comprennent pas les fournitures d'énergie suivantes : Propulsion des chemins de fer et tramways; secteur de la rue Beaubourg; distributions d'îlots.

Ils sont établis : pour la puissance installée.



d'après les polices d'abonnement; pour l'énergie dépensée, d'après la comptabilité des secteurs ou de la ville.

L'ensemble de Paris donne comme résultats : 68 267 kilowatts installés; 27 322 000 kilowatts-heure consommés; 400 heures d'utilisation.

La puissance installée dans les usines au 31 décembre 1901 est de 38 000 kilowatts environ, soit 56 p. 100 de la puissance installée chez les abonnés.

La grande durée d'utilisation, dans certains quartiers, provient de la prépondérance de l'éclairage public dans ces parties de la capitale.

M. Lauriol donne ensuite quelques ***Renseignements statistiques sur le fonctionnement du secteur municipal d'électricité de Paris en 1901***.

Ce secteur, qui distribue à la fois du courant continu et du courant alternatif, assure principalement l'éclairage des Halles et de différentes voies publiques; le nombre d'abonnés à l'éclairage privé est faible. La durée d'utilisation des lampes du service public étant très grande, le secteur municipal se trouve dans des conditions, à ce point de vue très favorables et ne permettant pas la comparaison avec des distributions ordinaires. Pour obvier à cet inconvénient, M. Lauriol a soustrait de la consommation totale de courant, celle qui est relative à l'éclairage public; le restant représente un secteur fictif, distribuant l'éclairage privé, et comparable aux autres secteurs.

En 1901, l'usine a produit 1 648 042 kilowatts-heure, mesurés à la sortie de l'usines et se répartissent ainsi

Éclairage des halles		582,505
Service des abonnés et voies publiques.	Basse tension.	603,663
	Haute tension.	324.790
Service intérieur de l'usine		138,084

La consommation pour l'éclairage privé a été de 335 082 kilowatts-heure.

La puissance maxima pouvant être normalement démandée à l'usine est de 640 kilowatts, la réserve étant de 325 kilowatts.

La puissance maxima débitée a été de 520 kilowatts.

Le coefficient d'utilisation de cette puissance maxima a donc été de 40 p. 100 environ pour l'ensemble du secteur; pour le secteur fictif, il serait de 32 p. 100 environ.

Une notable partie de l'installation (40 p. 100 pour l'ensemble du secteur et 55 p. 100 pour le secteur fictif) n'a à travailler, en tout ou en partie, que pendant 20 p. 100 de l'année.

La consommation de charbon par kilowatt-heure produit a été de 3,8 kilogrammes.

Le prix de revient du kilowatt-heure, rapporté à l'énergie consommée, déduction faite de la dépense pour le service intérieur de l'usine et des pertes de toute nature, vraies ou apparentes, a été le suivant :

Prix de revient de production	0,3457 fr.
» de transport et consommation.	0,1295 »
Dépenses d'ordre (dépenses faites par le secteur et acquittées par d'autres services; dépenses correspondant à des recettes que la ville aurait pu faire si l'exploitation du secteur avait été faite par une société privée).	0,0875 »
Charges de capitaux	0,1030 »
Total	0,6657 fr.

En répartissant les dépenses entre le secteur fictif et le secteur d'éclairage public, on arrive à des prix respectifs d'environ 0,62 et 0,84 fr par kilowatt-heure pour l'éclairage public et pour l'éclairage privé. Pour ce dernier service, la recette moyenne a été de 1,015 fr par kilowatt-heure.

M. Grätzmuller s'est trouvé amené, en étudiant l'alternateur auto-excitateur de M. Latour que construit la maison Postel Vinay, à imaginer un ***nouvel alternateur auto-excitateur***, dont il expose le principe. Voici cet exposé d'après un récent article publié dans *L'Industrie Électrique :*

« Tout le monde connait la génératrice asynchrone de courants polyphasés de M. Maurice Leblanc. On sait que, dans cette machine, tous les courants magnétisants doivent être fournis par le réseau sur lequel la génératrice débite des courants wattés. On sait également que le fécond inventeur a montré qu'une telle génératrice devient auto-excitatrice si on intercale des condensateurs dans les circuits polyphasés du rotor; elle ne demande plus alors de courants déwattés au réseau. En nous inspirant des idées de M. Leblanc, nous arrivons au même résultat final en remplaçant l'induit d'alternateur à

courants polyphasés constituant le rotor par un induit à courant continu du même nombre de pôles et intercalant des self-inductions entre les balais recueillant des courants polyphasés sur le collecteur de cet induit.

» Pour bien faire comprendre la théorie, considérons d'abord un alternateur, à pôles saillants bipolaires (fig. 1) et à courants polyphasés

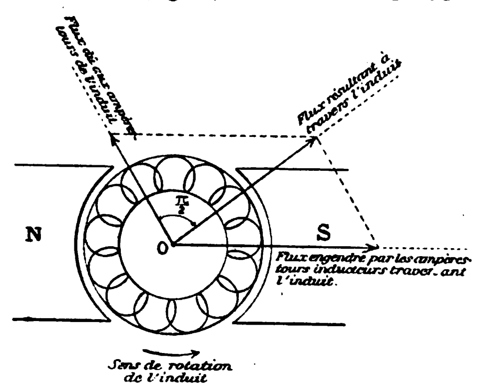


Fig. 1.

pour fixer les idées, dont l'induit est constitué par un induit de machine à courant constinu à collecteur.

» Considérons les vitesses comme positives dans le sens de la rotation de l'induit. Si, dans le nouvel alternateur, on imprime une vitesse ω_1 à l'induit et une vitesse ω_2 aux balais, il faudra, pour rendre l'alternateur auto-excitateur, mettre des condensateurs entre les balais si ω_1 et ω_2 sont de même signe, et des self-inductions si ω_1 et ω_2 sont de signes contraires.

» En effet, entre deux lames du collecteur distantes de $\frac{2\pi}{n}$, la tension peut être représentée par $e \sin \omega_1 t$, et entre deux balais elle sera $e \sin \omega_2 t$,

Or, l'induit débitant sur des résistances non inductives, d'une part, le flux de réaction d'induit est décalé de $\frac{\pi}{2}$ sur le flux résultant dans le sens de la rotation de l'induit par rapport à ce flux résultant, quelle que soit la position des balais. On sait en effet que, pour un alternateur ordinaire, cela est vrai à chaque instant. Or, à une certaine position des balais correspond une circulation des courants induits qui est la même que celle obtenue dans un alternateur qui serait constitué en soudant les balais sur le collecteur, et reliant ces balais à des bagues. Cela étant vrai pour une position quelconque des balais sur le collecteur, notre affirmation se trouve ainsi démontrée.

» Le flux de réaction d'induit étant fixe par rapport au flux résultant, il faut que le sens de rotation du flux tournant de l'induit par rapport aux balais change suivant que les balais tournent dans un sens ou dans l'autre par rapport aux flux résultant. La position du flux tournant, ou, ce qui revient au même, la situation dans l'espace des courants d'induit est déterminée par la position des balais et par la phase des courants circulant entre balais dans l'induit. Si on intercale des capacités on avancera le champ tournant dans sa position par rapport aux balais. Si on intercale des self-inductions on retardera au contraire le flux dans sa rotation.

» Il en résulte les conséquences suivantes :

» 1° Si les balais tournent par rapport au flux résultant dans le sens de la rotation de l'induit, il faut mettre des capacités entre balais pour donner un flux de réaction d'induit une composante dans la direction du flux résultant.

» 2° Si les balais tournent par rapport aux inducteurs en sens inverse de la rotation d'induit, il faut mettre des self-inductions entre balais pour donner au flux de réaction une composante dans la direction du flux résultant.

» *Conclusion.* — Dans un alternateur à pôles saillants, où la direction du flux résultant est en quelque sorte imposée par le fer, on peut obtenir l'auto-excitation en fermant le circuit sur les sef-inductions, à condition de faire tourner les balais en sens inverse de la rotation de l'induit.

» On ne peut s'empêcher de comparer cette auto-excitation par réaction à l'auto-excitation d'une dynamo shunt par décalage de balais sur la ligne neutre en arrière du mouvement. Tandis que dans la dynamo shunt les ampères-tours de l'induit dans l'espace sont fixes uniquement par le calage des balais, dans l'alternateur à balais tournants la position dans l'espace des ampères-tours de l'induit dépend des self-inductions ou des capacités intercalées entre balais.

» On peut donc énoncer le théorème suivant :

» *Soit un induit à courant continu traversé par un certain flux ; intercalons des self-inductions entre des balais recueillant des courants polyphasés sur son collecteur. Si les balais et l'induit tournent en sens inverse par rapport au flux*



résultant, on obtient un flux de réaction d'induit faisant un angle plus petit que $\frac{\pi}{2}$ *avec le flux résultant, et par suite ayant une composante dans la direction et le sens du flux.*

» La théorie de la génétrice avec stator et rotor s'en déduit comme suit :

» Considérons un stator de moteur d'induction, bipolaire par exemple, pour fixer les idées. Ce stator est bobiné pour engendrer des courants polyphasés d'un nombre quelconque de phases. Remplacons le rotor du moteur d'induction par un induit à courant continu bipolaire également avec n balais distants de $2\,\pi/n$ sur la périphérie du collecteur (fig. 2). Dans la

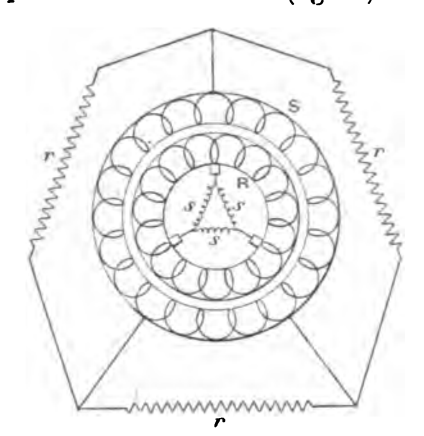


Fig. 2.

figure nous avons supposé les enroulements en anneaux de trois phases seulement sur chaque enroulement.

» Supposons que nous envoyions par des sources extérieures des courants polyphasés à 12 phases de fréquence ω' par les n balais et que nous fassions tourner le rotor à une vitesse ω dans le même sens, plus grande que la vitesse ω' du champ tournant engendré. Des courants prendront naissance dans les enroulements du stator, si nous fermons les circuits polyphasés sur des impédances que nous supposons, pour simplifier, également réparties sur les n phases.

» Voici le diagramme du fonctionnement en supposant qu'il n'y a pas d'hystérésis ni de courants de Foucault dans le fer. Soit OR (fig. 3) le flux total dû aux ampère-tours du rotor, R'R représentent le flux dû au rotor ne traversant pas le stator, c'est-à-dire le flux de fuite du rotor. Soit OS le flux total du stator, S'S étant le flux du stator ne passant pas dans le rotor, c'est-à-dire le flux de fuite du stator. La somme géométrique de OR' et deOS' est le flux commun OΦ aux deux enroulements.

» Cherchons maintenant quelles sont les forces

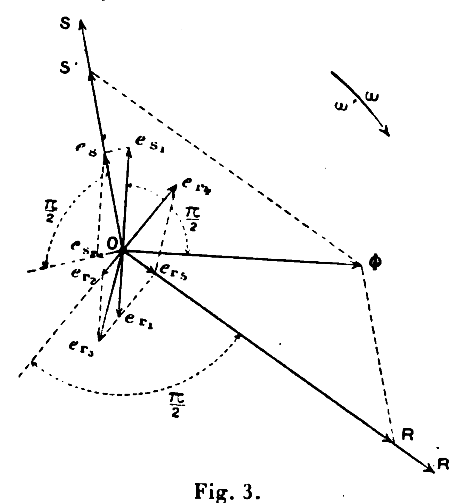


Fig. 3.

électromotrices qui interviennent pour produire les forces magnétomotrices créatrices des flux considérés : Représentons par e_s dans la direction OS la force électromotrice résultante en phase avec le courant du stator ; elle est la somme géométrique d'abord de l_{s_1}, force électromotrice induite par le flux Φ et de e_{s_2}, somme géométrique de la force électromotrice induite par le flux S'S et de la force électromotrice de self-induction, s'il y en a extérieurement.

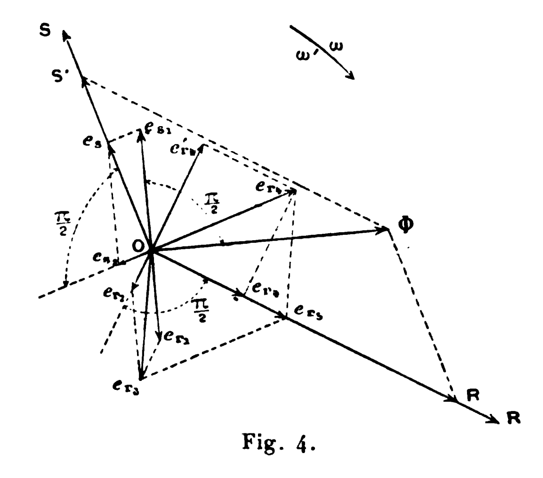


Fig. 4.

» Dans le rotor, e_{r_1} est la force électromotrice induite par le flux Φ, e_{r_2} la force électromotrice R'R ; e_{r_3} étant la somme géométrique de e_{r_2} et de e_{r_1}, doit se composer avec la force électromotrice d'une source extérieure pour donner une

force électromotrice e^r_5 en phase avec OR. Soit e_{r_4} cette force électromotrice extérieure. On pourrait la décomposer en deux : D'abord une force électromotrice e'_{r_4} décalée de $\frac{\pi}{2}$ en arrière du courant, et une force électromotrice e''_{r_4} en phase avec le courant. Or il est visible que la première force électromotrice est une force électromotrice de self-induction. La deuxième force électromotrice pourra toujours être rendue aussi petite qu'on voudra à condition d'augmenter suffisamment ω. En effet e_{r_1} et e_{r_2} étant proportionnels à $(\omega - \omega')$, la composante de e_{r_3} dans la direction OR peut être aussi grande qu'on veut, et la seconde composante perpendiculaire pourra toujours être annulée par la force électromotrice de self à condition de choisir cette self-induction convenablement.

» Nous n'avons donc pas besoin de supposer des sources extérieures pour fournir les courants au rotor, et le diagramme de fonctionnement en supprimant les sources d'excitation extérieures est celui de la figure 4, e_{r_4} étant uniquement une force électromotrice de self-induction.

» *Conclusion.* — Nous avons un alternateur auto-excitateur avec stator et rotor n'ayant aucun point de contact entre eux, les circuits du rotor étant fermés par des self-inductions et les circuits du stator par des résistances, inductives ou non inductives.

» J'ai vérifié qu'une machine construite suivant ce principe est bien réellement auto-excitatrice. Nous avons exposé *le principe* nouveau de cette machine.

» *Remarque.* — On pourrait encore obtenir l'auto-excitation en faisant tourner les balais en sens contraire de l'induit ou encore dans le sens de l'induit quoique à une vitesse différente, mais cela compliquerait inutilement le système ».

M. Bourguignon expose les résultats de ses ***Essais sur la résistance au contact des balais en charbon,*** faits au laboratoire de la Société.

Il a recherché comment varie cette résistance entre les balais en charbon et le collecteur des dynamos à courant continu lorsqu'on fait varier indépendamment la vitesse linéaire à la périphérie du collecteur, la pression par centimètre carré qui applique le balai sur le collecteur et enfin la densité de courant, et a déterminé point par point les courbes qui représentent la loi de variation de résistance dans chaque cas particulier. La méthode de mesure adoptée permettait de s'affranchir des conséquences du phénomène de la commutation. Les expériences ont porté sur des vitesses et des densités de courant très étendues et des pressions variant de 650 gr par centimètre carré à 120 gr : centimètre carré. La perte par effet de Joule est RI^2, et la perte par frottement mécanique est égale, en watts, à $2 f v p s \times 9{,}81$ par paire de balais ; (f étant un coefficient de frottement égal à environ 0,24, v la vitesse en centimètre : seconde, p la pression en kilogramme : centimètre carré et s la surface en centimètre carré). On peut donc déterminer, dans chaque cas particulier, les conditions de perte minimum par les balais.

La nature du charbon a une grande importance et peut faire varier les résultats dans la proportion de 1 à 4.

M. Bochet insiste sur la nécessité, dans ces expériences, de s'assurer de l'état du collecteur, et du centrage de la partie tournante qui, surtout aux grandes vitesses, produisent des vibrations qui peuvent fausser complètement les résultats.

M. Brunswick appuie les observations de M. Bochet ; il ajoute que les expériences faites avec ou sans commutation ne peuvent être comparées, que les conditions à satisfaire en pratique ne sont pas celles réalisées dans les expériences de M. Bourguignon et que les résultats de celles-ci, qui lui paraissent d'une « trompeuse exactitude », ne sauraient être appliquées qu'avec beaucoup de circonspection.

M. Gratzmuller ajoute que M. Bourguignon a accepté sans vérification que la résistance au contact est inversement proportionnelle à la surface et que l'expérience prouve qu'il n'en est pas ainsi. De plus, en pratique, la pression appliquée sur les balais n'est pas proportionnelle à la surface de ceux-ci. Il y a là bien des questions à étudier à nouveau.

M. Hospitalier fait observer, en outre, que les pressions adoptées d'ordinaire sont de 150 gr: cm² pour les dynamos fixes et de 300 gr : cm² pour les moteurs des voitures automobiles qui sont exposés à des cahots. Dans ces conditions, il ne voit pas la nécessité d'expériences portant sur des pressions de 400 ou 600 gr. Le porte-balai employé par M. Bourguignon ne correspond pas aux types adoptés dans l'usage courant.

M. Bourguignon répond qu'il a eu surtout en



vue de déterminer la variation de la résistance en fonction de chacun des éléments en particulier et que dans une seconde série de recherches, il fera son possible pour se rapprocher des conditions de la pratique. G. P.

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 1er décembre 1902.

Méthode pour évaluer les températures dans l'échelle thermodynamique centigrade, par **Ponsot**. *Comptes rendus*, t. CXXXV, p. 954-956.

En tenant compte des résultats théoriques établis dans une note précédente [1], l'auteur décrit succinctement une méthode plus simple et plus précise que celle de M. Pellat, car elle n'exige que la mesure de deux grandeurs e et q, et qu'on n'y emploie aucune relation empirique.

$\frac{d\varepsilon}{d\theta}$ et $\frac{d\varepsilon'}{d\theta}$ étant constants, on a, pour la force électromotrice d'un élément,

$$e = q - q' + B(\theta - \theta_0).$$

Si la température θ reste fixe, q est invariable,

$$\frac{d(e+q')}{d\theta_0} = -B.$$

Mode opératoire. — La soudure chaude sera portée à une température invariable θ, supérieure à la température d'ébullition de l'eau. L'autre température sera d'abord portée à la température de 100° centigrades ; on mesurera e' et q', dont la somme S' correspondra à la température absolue θ'.

Cette soudure sera ensuite portée à la température du zéro centigrade, on mesurera e'' et q'', dont la somme S'', correspondra à la température absolue θ''.

L'échelle qu'on a choisie pour les températures absolues étant celle où l'intervalle fondamental est également de 100°, on a

$$B = \frac{S'' - S'}{100}.$$

La soudure froide étant portée à une autre température inférieure à θ', si l'on trouve comme mesures e et q, dont la somme est S, cette température, repérée dans l'échelle centigrade, sera

$$t = -\frac{S - S''}{B}.$$

Cette température, évaluée dans l'échelle thermodynamique dont l'échelle centigrade fait partie, est $t + \theta''$.

Pour déterminer θ'', on résoudra par tâtonnements l'équation suivante, en posant $\theta' = \theta'' + 100$,

$$\frac{q''}{\theta''} + B \operatorname{Log} \theta'' = \frac{q'}{\theta'} + B \operatorname{Log} \theta'.$$

Ayant ainsi simultanément mesuré la force électromotrice de l'élément thermo-électrique et évalué la température de l'une des soudures dans l'échelle thermodynamique adoptée, puis répété ces mesures et évaluations dans des limites de température aussi étendues que possible, on pourra déterminer les constantes de la relation que j'ai donnée entre la force électromotrice et la température absolue.

Il suffira alors de mesurer cette force électromotrice pour la détermination des températures absolues, dans les limites de température dépendant de la nature des métaux formant l'élément thermo-électrique. Cet élément servira de thermomètre étalon.

On pourrait également, après avoir obtenu dans le calcul de θ'' la deuxième constante de la relation entre q et la température absolue, utiliser seulement la mesure de q.

Le critérium de l'exactitude de la méthode sera que les valeurs de e et de q, utilisées séparément, devront donner des indications de température concordantes et indépendantes de la composition de l'élément thermo-électrique.

---

[1] Dans cette note (*Écl. Élect.*, t. XXXIII, p. 248, 15 novembre 1902) relative à la force électromotrice d'un élément de pile thermo-électrique, M. Ponsot indiquait les conditions nécessaires pour pouvoir calculer les températures dans une échelle thermodynamique, soit avec la valeur de cette force électromotrice, e, mesurée par les procédés ordinaires, soit avec la valeur de q, c'est-à-dire du phénomène de Peltier, mesurée par le procédé donné par M. Pellat (*Écl. Élect.*, t. XXIX, p. 450, 21 décembre 1901).

M. Pellat (*Écl. Élect.*, t. XXXIII, p. 251) a fait remarquer que la méthode qu'il a proposée pour évaluer en valeur absolue les basses températures n'est pas identique à celle qui repose sur la mesure de q, et notamment qu'elle n'exige pas l'emploi de deux températures connues en valeur absolue.

La méthode de M. Pellat repose, en effet, sur la mesure simultanée de trois grandeurs : la force électromotrice, e, d'un élément, le phénomène de Peltier, q, à l'une de ses soudures, et la température t de cette soudure dans une échelle thermométrique ordinaire.

Séance du 8 *décembre* 1902.

Sur les électrodes bipolaires à anode soluble, par **André Brochet** et **C.-L. Barillet**. *Comptes rendus*, t. CXXXV, p. 1049-1051.

Dans une note précédente [1], les auteurs ont indiqué comment se comporte une électrode bipolaire à anode insoluble placée dans un électrolyseur à sulfate de cuivre. Dans celle-ci, ils examinent quelle est l'action d'une électrode bipolaire en cuivre placée dans le même appareil.

A priori, il est à présumer, en supposant, d'une part, que le cuivre n'a pas d'action spéciale, d'autre part, que le flux de courant est uniforme, c'est-à-dire que l'anode et la cathode ont la même surface que la section de l'électrolyseur, que le rapport du poids du cuivre déposé sur l'intercathode au poids du cuivre déposé sur la cathode doit être égal au rapport de la surface de l'interélectrode à la section de l'électrolyseur. En réalité, les chiffres obtenus sont beaucoup plus faibles.

Comme dans un tel système, le poids du cuivre déposé sur l'intercathode est sensiblement égal au poids de métal dissous à l'interanode, l'électrode bipolaire ne change pas de poids et il n'est pas possible, par pesée directe, de savoir ce qui s'est passé Pour tourner la difficulté, les auteurs ont constitué leur bipolaire par deux lames de cuivre de 10 cm de côté, réunies dos à dos par des bagues de caoutchouc. La cuve employée avait 13,5 cm de côté. La hauteur du liquide était également de 13,5 cm.

En supposant le flux de courant régulier, le cuivre déposé sur l'intercathode aurait dû être égal à $\frac{10^2}{13,5^2}$, soit 55 p. 100 du cuivre déposé sur la cathode. Les résultats obtenus, pendant une heure, avec des électrodes distantes de deux fois 3 cm, sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Intensité corrigée.	Cuivre déposé sur la cathode (A).	Cuivre déposé sur l'intercathode (B).	Rapport $\frac{B}{A}$.
amp	g	g	
0,21. . . .	0,248	0,025	10,1 p. 100
0,47. . . .	0,555	0,132	23,8 »
1,12. . . .	1,322	0,427	32,3 »
1,34. . . .	1,582	0,530	33,5 »
1,85. . . .	2,181	0,817	37,4 »
2,80. . . .	3,309	1,499	45,4 »

[1] *Écl. Élect.*, t. XXXIII, p. 350, 6 décembre 1902.

Les électrodes bipolaires de cuivre, comme celles de platine, tendent donc à s'opposer au passage du courant et déforment le flux dans un électrolyseur à sulfate de cuivre [1].

[1] Les auteurs pensent que ce résultat doit être attribué à une force électromotrice de polarisation. Voici ce qu'ils disent à ce propos :

Sans chercher pour le moment la cause exacte du phénomène, nous sommes naturellement conduits à admettre l'existence d'une résistance apparente due à un phénomène de polarisation.

» Un autre fait vient d'ailleurs confirmer cette manière de voir. Si l'on examine l'interélectrode et l'intercathode, on remarque que le bord des lames n'agit pas du tout, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de dépôt sur l'intercathode et que l'interanode ne se dissout pas. On obtient ainsi une marge variable avec l'intensité du courant. Dans les conditions précédentes, avec une intensité de 0,1 ampère, cette marge est de 1 cm environ.

» On est donc en droit d'admettre qu'il y a là une force contre-électromotrice de polarisation. D'ailleurs lorsque l'on coupe le circuit d'un voltamètre à cuivre, on constate entre les deux électrodes une légère différence de potentiel due à une force contre-électromotrice de polarisation, donnant naissance à un courant secondaire, inverse du courant primaire.

» Récemment, M. Leduc (*Comptes rendus*, t. CXXXV, p. 23) a établi qu'un fil d'argent placé dans un voltamètre à argent ne subissait aucune action et attribuait ce fait à une force contre-électromotrice de 0,03 volt. Dans le cas du voltamètre cuivre-sulfate de cuivre, cette force électromotrice de polarisation est de l'ordre des millivolts.

» Cette force peut suffire pour expliquer qu'il ne passe rien au travers d'une électrode isolée occupant une portion très minime de l'électrolyseur, elle devient insuffisante pour expliquer des faits de l'ordre de grandeur de ceux que nous signalons.

» Pour étudier ce phénomène, considérons une électrode bipolaire parfaite, c'est-à-dire séparant la cuve électrolytique en deux parties, sans aucune communication par l'électrolyte, et considérons, d'autre part, un système anode-cathode bien fixe.

» Ce système étant placé dans la cuve, nous mesurons la différence de potentiel correspondant à une intensité donnée ; le même système étant placé dans une cuve exactement semblable mais sans électrode bipolaire, donnera pour la même intensité une nouvelle valeur plus faible. La différence entre les deux correspond à la chute de potentiel occasionnée par l'électrode bipolaire.

» On obtient ainsi une série de valeurs, variables avec l'intensité.

» Les phénomènes de polarisation qui se produisent au contact d'une électrode bipolaire parfaite sont évidemment les mêmes que ceux qui se passent pour l'ensemble des deux électrodes, anode et cathode, placées dans les mêmes conditions. La méthode que nous avons indiquée précédemment permet donc de mesurer ces phénomènes aussi bien dans le cas d'anode insoluble que d'anode soluble.

De l'ensemble de leurs recherches sur les électrodes bipolaires, MM. Brochet et Barillet tirent les conclusions suivantes :

« 1° Les électrodes bipolaires à anode soluble, à la question d'intensité près, déforment le flux de courant de la même façon que celles à anode insoluble, en vertu de phénomènes importants de polarisation.

» 2° La bonne utilisation des électrodes bipolaires exige que celles-ci forment cloison étanche, les espaces réservés à la circulation du liquide devant être aussi restreints que possible pour éviter les pertes par dérivation, considérables même avec les anodes solubles.

» 3° Si l'appareil nécessite une agitation énergique que l'on ne peut obtenir qu'en faisant circuler l'électrolyte transversalement entre les électrodes dans tous les compartiments à la fois, les électrodes devront être enchâssées dans des cadres de grandes dimensions pour que leur utilisation soit rationnelle.

» 4° Dans un électrolyseur on pourra employer des pièces métalliques ne communiquant pas avec les électrodes, non seulement si le métal agit comme anode insoluble, mais également s'il agit comme anode insoluble. Aucune règle précise ne peut être donnée à ce sujet ; l'essai seul fixera. »

Séance du 15 décembre 1902.

Procédé de séparation électrique de la partie métallique d'un minerai de sa gangue, par **D. Negreano**. *Comptes rendus*, t. CXXXV, p. 1103.

1° Ce procédé est fondé sur l'expérience suivante :

On coupe dans une plaque métallique un disque central, et l'on réunit, à l'aide de fils métalliques, la plaque et le disque aux deux pôles d'une machine Wimshurst. Si l'on projette ensuite sur le système, à l'aide d'un soufflet, un mélange pulvérulent de soufre et minium, de façon que le mélange traverse avec frottement les trous très fins d'un disque en bois, on constate que, si le soufre, par exemple, se dépose sur la plaque métallique, le minium sera déposé sur le disque central. Les colorations jaune du soufre et rouge du minium permettent d'observer facilement cette séparation.

La cause de cette séparation est nécessairement l'électrisation différente du soufre et du minium et le dépôt de ces substances sur les parties métalliques électrisées en sens inverse par la machine.

2° Des expériences analogues ont été faites avec des minerais métalliques réduits en poudre. En voici quelques exemples :

Réduisant en poudre fine *une roche siliceuse avec des imprégnations de malachite et d'oxydes de fer et de cuivre*, on constate la séparation de la partie métallique de la gangue siliceuse.

Avec une *roche quartzeuse contenant de la limonite*, on observe facilement d'un côté la gangue, de l'autre côté la limonite reconnaissable à sa couleur jaune brun.

Opérant sur un *minerai de lignite avec riches imprégnations de pyrite*, on peut, de même, séparer la lignite de la partie métallique.

3° Ce procédé de séparation serait peut-être applicable à l'extraction de l'or de sa gangue. L'auteur n'a pas eu malheureusement à sa disposition des quantités suffisantes de sable aurifère pour essayer l'expérience.

» Poggendorf, Lechner, Lenz, etc., remarquèrent aux électrodes un phénomène analogue et lui donnèrent le nom de *résistance de passage*. Rappelons également qu'en 1887, M. Bary signala dans les piles une action de même nature, mais agissant alors comme force pour électromotrice.

» Ce que nous tenons à faire remarquer, c'est l'importance de ce phénomène dans le cas d'anodes solubles, puisque les valeurs que nous avons trouvées atteignent, pour les conditions ordinaires de la pratique, 10 p. 100 de la différence de potentiel aux bornes ».

Le Gérant : C NAUD.



Tome XXXIV Samedi 24 Janvier 1903. 10e Année. — N° 4

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

FONCTIONNEMENT DES CONVERTISSEURS ROTATIFS

DANS LES INSTALLATIONS DE TRACTION AVEC ACCUMULATEURS STATIONNAIRES [1]

Dans les installations de chemins de fer ou de tramways électriques à courant continu, lorsque l'énergie est fournie par une transmission à courant alternatif, il est nécessaire de transformer cette énergie en courant continu à la tension de 600 à 700 volts. A cet effet, on emploie ordinairement dans les usines qui doivent alimenter le réseau de distribution, des moteurs alternatifs qui actionnent des dynamos à courant continu, ou encore des machines rotatives, convertisseurs tournants, qui opèrent directement la transformation. Ces convertisseurs ne sont, en substance, que des dynamos en dérivation, dont l'armature est munie d'un côté d'un collecteur Pacinotti sur lequel on recueille le courant continu et de l'autre côté de deux ou trois bagues, connectées convenablement à deux ou trois points de l'armature et auxquelles est amené le courant alternatif monophasé ou triphasé à transformer.

L'emploi d'une batterie d'accumulateurs qui agit en parallèle avec les convertisseurs tournants est à peu près indispensable dans ces sortes d'installations.

A l'usine des Tramways électriques de Rome, propriété de la Société Anglo-romaine, où entre autres machines se trouvent quatre convertisseurs tournants, j'ai eu l'occasion de faire fonctionner ces convertisseurs soit en parallèle avec les accumulateurs, soit sur des résistances non inductives, et, dans un cas comme dans l'autre, j'ai remarqué des phénomènes que je crois intéressant d'exposer [1].

---

[1] Communication faite le 31 octobre 1902 à la réunion annuelle de l'Associazione Elettrotecnica Italiana à Turin.

[2] Le convertisseur sur lequel ont été faites les expériences provient de la maison Ganz et Cie, il est monophasé

Pour faire fournir par la machine à la batterie (limitée à un nombre d'éléments de 259 à 277) un courant continu de 90 ampères à 550 volts, il faut lui envoyer un courant alternatif de 124 ampères à 403 volts ; tandis que pour faire produire à la batterie la même intensité de 90 ampères à la même tension 550 volts sur une résistance non inductive, il faut fournir à la machine un nombre de volts-ampères alternatifs bien plus grand, soit 142 ampères à 403 volts.

La tension et l'intensité des courants alternatifs et continus étaient mesurées avec des appareils à fil chaud.

Deux hypothèses se présentent pour expliquer ce phénomène : ou la phase du courant alternatif ne reste pas la même dans les deux cas, ou bien le même nombre de volts-ampères continus ne représente pas dans les deux cas une même énergie électrique effective.

J'ai exécuté plusieurs séries d'expériences en vue de déterminer laquelle de ces deux hypothèses est valable.

Quand le convertisseur chargeait les accumulateurs, je notais les volts, les ampères et les watts du courant alternatif reçu et ceux du courant continu fourni à la batterie, aussi bien que l'intensité du champ en ampères. Le tableau I reproduit les résultats d'une série d'expériences. Outre les valeurs directement lues, ce tableau présente :

les kilovolts-ampères calculés pour le courant alternatif comme pour le courant continu;

les valeurs du facteur de puissance $\cos \varphi_1$ du courant alternatif ;

les kilowatts dépensés en totalité dans la machine et obtenus en ajoutant aux kilowatts alternatifs l'énergie dépensée dans le champ du convertisseur (cette énergie était de 1 260 watts) ;

le rendement du convertisseur, etc.

Tableau I

Courant alternatif fourni						Courant continu restitué					Rendement total	$\frac{KV \times A - KW}{KW}$
Volts	Amp.	Kilovolts-ampères	Kilowatts	$\cos \varphi_1$	Dépense totale en kilowatts	Volts	Amp.	Kilovolts-ampères	Kilowatts recueillis	$\cos \varphi_2$		
404	35	14,14	13,78		5,04	564	18,3	10,32		0,86		
406	42	17,05	16,80	0,980	18,06	560	29	16,20	14	0,86	0,770	15,7
406	65	26,39	26	0,980	27,26	560	44,4	24,86	21,4	0,87	0,784	16,1
406	84	34,60	33,81	0,977	35,07	558	53,3	29,74	25	0,86	0,712	19
404	100	40,60	39,90	0,982	41,16	554	70,5	39	33,5	0,87	0,813	16
404	116	46,86	46	0,960	47,26	551	82,9	45,67	39,7	0,86	0,840	15
403	124	49,97	49,14	0,986	50,40	548	89,9	49,26	42,75	0,86	0,847	10,5
403	133	53,60	51,87	0,970	53,13	548	96	52,60	45,7	0,86	0,860	15
402	150	60,30	56,96	0,944	58,22	545	105	57,22	49,8	0,87	0,855	15

Il résulte de ce tableau que le déplacement de phase du courant alternatif est très petit ; si on laisse de côté la première période de mise en marche du convertisseur, la valeur de $\cos \varphi_1$ varie de 0,98 à 0,94, de sorte que les volts-ampères alternatifs mesurent à très peu

et sa puissance est de 60 kilowatts. C'est une machine à 8 pôles avec enroulement du champ en dérivation, mais excité par la batterie d'accumulateurs. La forme des noyaux magnétiques est donnée par la figure 1 où est repré-



près l'énergie fournie à la machine. Si on examine maintenant les résultats relatifs au courant continu restitué par la machine, on voit qu'il existe une différence très marquée entre les kilovolts-ampères calculés et les kilowatts mesurés. Ce fait démontre que le courant fourni par la machine, considéré industriellement comme un courant continu, ne l'est pas tout à fait; il a les propriétés d'un courant notablement pulsatoire dans un même sens, d'où il résulte que le simple produit des volts par les ampères n'indique pas l'énergie effective restituée.

Si on considère ce courant comme analogue à un courant alternatif, son facteur de puissance indiqué au tableau par cos φ_2 se maintient constant et égal à 0,86 ou 0,87.

J'ai répété les mêmes expériences en faisant débiter le convertisseur sur des résistances ohmiques. Le tableau II donne les résultats correspondants.

TABLEAU II

COURANT ALTERNATIF FOURNI						COURANT CONTINU RESTITUÉ					RENDEMENT	$\frac{KV \times A - KW}{KW}$
Volts	Amp.	Kilovolts-ampères	Kilowatts	Cos φ′	Dépense totale en kilowatts	Volts	Amp.	Kilovolts-ampères.	Kilowatts recueillis	Cos φ″		
410	54	22,14	20,50		21,76	565	31,3	17,68	16	0,90	0,740	10,5
410	68	27,88	27	0,963	28,26	559	43,2	24,14	22,2	0,92	0,787	8,8
409	84	34,36	34	0,989	35,26	555	53,1	29,47	27,4	0,92	0,780	7,2
408	100	40,80	40,50	0,99	41,76	552	64,2	35,44	33	0,93	0,790	7,4
406	115	46,69	45,78	0,978	47,04	550	79,3	43,61	41,5	0,97	0,882	5
404	128	51,71	50,60	0,978	51,86	547	82,2	44,96	42,5	0,94	0,820	5,8
403	142	57,22	55,65	0,972	56,91	544	89,9	48,90	47	0,96	0,826	4

Dans ce cas encore, les volts-ampères alternatifs ne dépassent pas de beaucoup les watts; le courant alternatif fourni a un faible déplacement de phase (de 0,96 à 0,99) à peu près égal à celui des mesures précédentes; mais ce qu'il est important de noter, c'est le plus grand accord qui existe entre les volts-ampères et les watts restitués par le convertisseur (cos φ″ est en moyenne égal à 0,95), ce qui revient à dire que le courant produit a une pulsation bien inférieure à celle relevée dans le cas où la machine chargeait la batterie

---

sentée une section du champ : d'une couronne circulaire *ab* en petites lames de fer partent des branches *m n o p* en forme d'U telles que deux branches contiguës *o′p′* et *m n* sont entourées par une bobine du champ.

L'armature est à tambour avec enroulement en série : d'une part les spires communiquent avec les 189 lamelles du collecteur Pacinotti, d'autre part elles communiquent en deux points déterminés distants de 72 spires à deux bagues métalliques, auxquelles arrive le courant alternatif monophasé. Les spires ne suivent pas les génératrices du noyau de l'armature, mais elles sont inclinées de 3 cm environ. Le courant alternatif entre par les bagues à un potentiel de 410 volts environ et sort du collecteur transformé en courant continu à un potentiel de 580 volts environ.

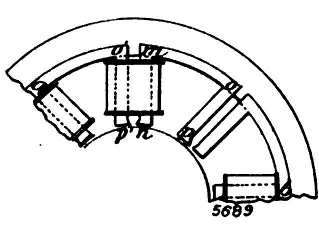


Fig. 1.

La batterie d'accumulateurs, sur laquelle j'ai exécuté les expériences relatées ici, est composée de 304 éléments du type Tudor, de la capacité de 1000 ampères-heure environ pour trois heures ; chaque élément est constitué par 20 plaques positives ayant chacune une surface de 18 × 2 dm² et un poids total de 18 400 kg et par 21 plaques négatives de même surface et d'un poids total de 11 300 kg. La batterie fonctionne soit seule, soit en parallèle sur la ligne de tramways et doit, en outre, fournir le courant pour le champ des convertisseurs. Celui-ci a été maintenu constant dans toutes les séries d'expériences.

d'accumulateurs, de sorte que le produit de la tension par l'intensité du courant est de peu inférieure à l'énergie effective engendrée.

Si l'on calcule de combien l'énergie apparente restituée est inférieure à l'énergie effective, on trouve que, si le convertisseur débite sur une résistance non inductive, la différence est à pleine charge de 5 p. 100 en moyenne tandis que, si le convertisseur charge les accumulateurs, elle est de 15 p. 100. C'est ce qu'exprime la dernière colonne des tableaux I et II obtenue en divisant la différence entre les kilovolts-ampères et les kilowatts par le nombre de kilowatts.

Ces résultats expérimentaux m'ont permis de me rendre compte du fonctionnement divers des convertisseurs suivant l'usage auquel ils sont destinés. Lorsque le convertisseur charge une batterie d'accumulateurs, il lui fournit un certain nombre d'ampères à un potentiel déterminé, dont le produit ne représente pas l'énergie effective donnée à la batterie; cette énergie est même notablement moindre, il lui correspond une certaine valeur X de l'énergie alternative envoyée. Si, au contraire, le convertisseur agit sur des résistances ohmiques, le produit des volts par les ampères est beaucoup plus voisin de l'énergie effectivement cédée, et par suite au même nombre de volts-ampères doit correspondre une énergie alternative ayant une valeur Y plus grande que X.

Ce phénomène ne peut être expliqué par un déplacement de phase du courant alternatif, les tableaux précédents montrent que les courants sont en effet en phase dans les deux cas ; mais pour cette explication il suffit d'admettre que, durant la charge de la batterie, le courant engendré doit acquérir une pulsation notablement plus forte que dans l'autre cas. Les valeurs de cos φ_2, bien moindres que celles de cos φ'', nous en donnent la preuve ; mais pour mettre mieux encore ce phénomène en évidence, j'ai adopté la disposition suivante :

J'ai employé un transformateur à circuit magnétique ouvert (avec rapport de transformation de 1 à 2) et dont le primaire est inséré sur l'un des conducteurs de courant continu chargeant la batterie. J'ai pu alors obtenir une intensité notable dans le secondaire de ce transformateur fermé sur une très faible résistance. En mesurant l'intensité du secondaire pour des valeurs croissantes de l'intensité dans le primaire, j'ai obtenu les résultats réunis dans le tableau III et qui démontrent que le courant développé par le convertisseur était notablement pulsatoire.

Tableau III

VOLTS	AMPÈRES	AMPÈRES
2	14	2,9
3,2	20	4
5	30,3	6
6,8	40	7,5
8,5	50	9,6
»	58	10

En répétant la même expérience avec le convertisseur fonctionnant sur des résistances ohmiques, j'ai obtenu au secondaire du transformateur un courant très faible, comme le montre le tableau IV ; les pulsations étaient donc très petites.



TABLEAU VI

VOLTS	AMPÈRES	AMPÈRE
3,4	20	0,0
5,7	35	0,12
6,5	39	0,12
9,2	50	0,12

J'aurais pu conclure de là que le fonctionnement différent du convertisseur suivant qu'il charge une batterie ou débite sur des résistances ohmiques est dû à ce fait que le courant légèrement pulsatoire engendré par la machine a ses pulsations notablement accrues dans le premier cas; mais pour avoir une vérification de plus j'ai enregistré la marche du courant au moyen de ma méthode magnéto-optique. J'obtins ainsi une ligne presque droite quand le convertisseur agissait sur des résistances et une ligne ondulée (fig. 2) quand il chargeait la batterie.

Il restait enfin à trouver la cause de la différence que présentent les deux systèmes de marche. Comme je l'ai dit précédemment, il suffit, pour l'expliquer, d'admettre que le courant engendré par le convertisseur, quand il charge la batterie, doit acquérir une pulsation notablement plus grande que celle qu'il possède lorsqu'il agit sur des résistances ohmiques; c'est du reste ce qui peut effectivement avoir lieu si la batterie d'accumulateurs présentant une force contre-électromotrice, détermine dans les effets du courant une pulsation plus grande que celle due à la force électromotrice développée par le convertisseur même. Dans cet ordre d'idée, j'ai voulu rechercher si une dynamo ordinaire à courant continu présente aussi le phénomène susdit pendant la charge d'une batterie d'accumulateurs. Une dynamo à courant dit continu fournit en réalité un courant plus ou moins ondulé; les ondulations du courant de la dynamo, insignifiantes dans le cas d'une distribution d'éclairage, pourraient être manifestées pendant la charge d'une batterie d'accumulateurs. Le résultat de mes expériences a toujours été négatif quoique j'aie poussé les recherches suivant les trois méthodes précédentes : d'abord par la comparaison des lectures des instruments différents, puis par l'épreuve du transformateur et enfin par la photographie de l'onde du courant électrique fourni, dans les deux cas, par la dynamo.

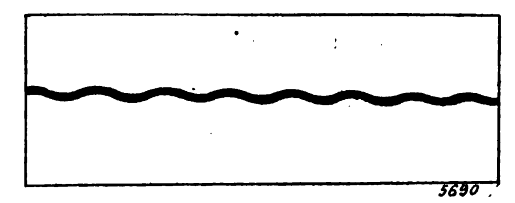


Fig. 2.

Aussi bien lorsque la dynamo charge la batterie que lorsqu'elle agit sur des résistances, j'ai toujours obtenu à mon analyseur magnéto-optique une ligne droite. J'ai inséré le primaire du susdit transformateur en série avec un des conducteurs de la dynamo, quand elle chargeait les accumulateurs et en l'excitant avec un courant de forte intensité, je n'ai obtenu au secondaire aucune indication de courant. En mesurant des volts-ampères fournis par la dynamos à la batterie avec des instruments thermiques et avec des instruments du type Weston, j'ai obtenu un accord complet entre leurs indications, ce qui prouve évidemment que le courant de la dynamo, même pendant la charge de la batterie, ne manifeste aucune pulsation appréciable.

Dans le cas spécial des convertisseurs tournants, ces pulsations pendant la charge de la

batterie, se manifestent d'une manière très notable comme je l'ai montré; j'ai pensé par suite que la batterie d'accumulateurs devait fonctionner comme une capacité qui aurait pour effet de produire une plus grande différence de phases entre l'intensité et la tension du courant de charge, comme cela arrive du reste par les effets de la capacité dans les circuits parcourus par des courants alternatifs ou pulsatoires.

Nous en avons un exemple simple dans l'application des capacités dites électrolytiques qui servent pour la mise en marche des moteurs. Il est à noter que ces capacités électrolytiques correspondent à une très faible polarisation des électrodes; mais une telle analogie est cependant admissible étant donné qu'un accumulateur à électrodes de plomb, quand il n'est pas chargé, comme cela avait précisément lieu dans mes expériences, présente une élévation de potentiel assez grande.

Quelles que soient les causes que j'ai indiquées et qui, séparément ou simultanément, concourrent à la production du phénomène remarqué pour la première fois par moi, j'ai cru bon, pour éliminer cet inconvénient, d'introduire en série avec l'un des conducteurs de courant continu une forte résistance inductive. Le convertisseur ne restait pas en phase ; mais en diminuant graduellement la résistance, j'ai trouvé une valeur telle que le convertisseur en chargeant la batterie d'accumulateurs se comportait à peu près comme s'il fonctionnait sur des résistances ohmiques. Dans le cas spécial du convertisseur et de la batterie qui m'ont servi, la résistance avait une inductance de 0,035 henry et quand elle était parcourue par un courant de 90 ampères, elle absorbait une tension de 1,8 volt.

Le phénomène observé par moi a beaucoup d'importance dans l'industrie où les convertisseurs tournants trouvent toujours de plus en plus d'applications.

Dans le fonctionnement de ces machines en parallèle avec des batteries d'accumulateurs, il est utile de vérifier le désaccord qui existe entre les évaluations de l'énergie déduites du produit des volts par les ampères mesurés avec les instruments à fil chaud et les vraies valeurs de l'énergie indiquées au wattmètre. Si l'on ne veut pas tenir compte de ce désaccord dans les mesures de l'usine, il faut employer le procédé de correction que j'ai indiqué et qui consiste à introduire en série à un des conducteurs de la machine une inductance qui élimine l'inconvénient que j'ai signalé en faisant agir la machine avec la même efficacité soit sur les accumulateurs, soit sur des résistances ohmiques, sans troubler le service et avec une perte d'énergie négligeable.

Nous pouvons donc conclure de là :

1° Quand un convertisseur tournant fonctionne sur une résistance non inductive, il fournit un courant continu avec de légères ondulations. Il serait inexact de calculer l'énergie engendrée par la machine au moyen du produit de la tension par l'intensité du courant ; cette énergie mesurée au wattmètre lui est inférieure, dans le cas étudié, de 5 p. 100 en moyenne ;

2° Quand le convertisseur fonctionne sur une batterie d'accumulateurs, l'amplitude des ondulations croît ; le courant continu devient fortement ondulé. L'énergie effective engendrée par la machine est de beaucoup inférieure à l'énergie apparente obtenue par le produit des volts par les ampères. Dans le cas étudié, la différence est de 15 p. 100 en moyenne ;

3° Pour éviter cet inconvénient, ou filtrer le courant ondulé engendré par le convertisseur, on peut introduire dans le circuit une inductance convenable à régler par tâtonnements et qui absorbe une très faible quantité d'énergie.

A. Banti.



REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

Nouveau procédé pour la mesure de l'écart angulaire dans les machines motrices, par **F. Klonne.** *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 715, 14 août 1902. Communication faite à la dixième assemblée annuelle de la « Verband Deutscher Elektrotechniker » à Dusseldorf, 1902.

On définit écart angulaire d'une machine motrice l'écart maximum qui se produit entre la manivelle de la machine tournant à une vitesse non uniforme et une manivelle idéale tournant à une vitesse rigoureusement uniforme et égale à la vitesse angulaire moyenne de la machine étudiée. L'écart angulaire électrique est l'écart angulaire mécanique, rapporté à une période de l'alternateur accouplé directement à la machine motrice, c'est-à-dire le produit de l'écart mécanique par le nombre de paires de pôles.

L'auteur fait d'abord remarquer qu'il importe de mesurer l'écart angulaire à l'endroit exact; ainsi, par exemple, dans une machine jumelle avec dynamo à l'intérieur des deux manivelles, il serait complètement inexact de relever l'écart angulaire à l'une des deux extrémités libres de l'arbre, car les écarts occasionnés par la torsion de l'arbre peuvent être du même ordre de grandeur que la quantité à mesurer. En principe, il est toujours préférable de faire la mesure sur la périphérie de la partie tournante de la machine électrique; dans le cas où c'est impossible, on peut cependant se contenter d'opérer sur le volant, à condition qu'il soit très voisin de la dynamo et accouplé directement et rigidement avec celle-ci.

Les quantités à mesurer sont très petites: ainsi, on admet souvent pour la marche en parallèle des alternateurs que l'écart angulaire électrique ne doit pas dépasser 3°.

Pour un alternateur fonctionnant à 125 t : m, sous 50 périodes, ce qui correspond à 24 paires de pôles, cela fait un écart angulaire mécanique de $\frac{3^{\circ}}{24} = 0^{\circ},125$.

Si l'on désire mesurer cet écart à 10 p. 100 près, étant donné qu'on peut facilement apprécier le demi-millimètre, on est conduit à faire la lecture sur une circonférence de 4,50 m de diamètre environ, c'est-à-dire sur un volant normal. D'autre part, il est impossible de songer à effectuer la mesure sur un tambour commandé mécaniquement par l'arbre, car l'intermédiaire mécanique employé, quel qu'il puisse être, introduirait des erreurs atteignant l'ordre de grandeur de l'écart à mesurer.

Le dispositif employé par l'auteur est le suivant :

Sur la périphérie du rotor ou du volant de la machine, suivant le cas, on dispose (fig. 1) une

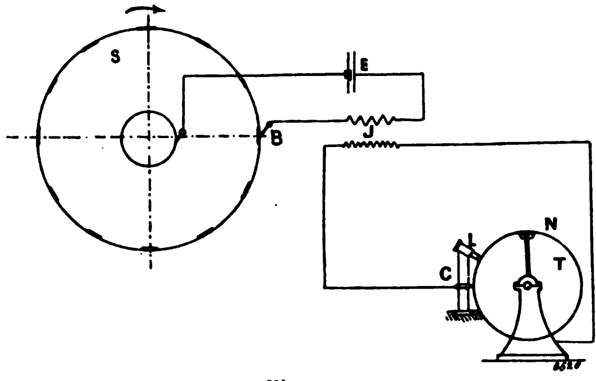


Fig. 1.

ame conductrice, interrompue à des distances parfaitement déterminées par des segments isolants. On forme un circuit comprenant une pile E, un petit balai B frottant sur la lame, la masse de la machine et le primaire d'une bobine d'induction J.

Un tambour cylindrique T, de grand moment d'inertie, tourne d'une vitesse rigoureusement uniforme, entraîné par un électromoteur alimenté par une batterie d'accumulateurs. Le secondaire de la bobine d'induction J aboutit d'une part à une pointe C isolée, disposée en regard du tambour, et d'autre part au bâti du tambour.

Le tambour est au préalable noirci avec de la suie et mis en mouvement à une vitesse sensiblement égale à *m* fois la vitesse angulaire de la machine à étudier, si *m* désigne le nombre de pièces isolantes disposées sur la circonférence de cette dernière.

La pointe C est montée sur glissière et se déplace parallèlement à l'axe du tambour, d'une vitesse uniforme. La figure 2 donne l'aspect de l'appareil.



Chaque fois qu'une pièce isolante se présente sous le balai B, le courant est coupé dans le primaire de la bobine J ; il en résulte, dans le secondaire, la production d'une étincelle entre la pointe C et le tambour : cette étincelle se produit à un intervalle de temps extrêmement petit et toujours le même après la rupture du courant

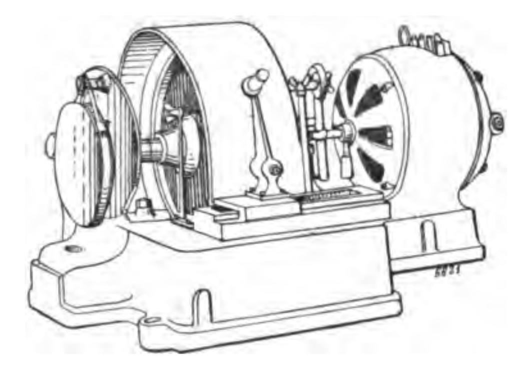


Fig. 2.

primaire, et laisse sur le tambour une marque nettement définie et très facile à reconnaître.

Si la machine en expérience avait une vitesse angulaire uniforme, les points se trouveraient tous situés sur une génératrice du cylindre. Si la machine présente une vitesse non uniforme tantôt supérieure, tantôt inférieure à la vitesse moyenne, les points correspondants se trouvent sur le tambour, en arrière ou en avant de cette génératrice.

On mesure les distances linéaires sur le tambour, au moyen d'une loupe L, munie d'un réticule, en déplaçant le tambour jusqu'à amener les points en coïncidence avec le centre du réticule, et lisant l'arc décrit au moyen d'une graduation en parties égales tracée sur une arête du tambour et d'un vernier fixe.

Ceci posé, on obtient la valeur absolue de l'écart linéaire à la périphérie du volant en multipliant la distance lue sur le tambour par le rapport de la distance de deux arêtes consécutives de rupture du courant, à la circonférence du volant.

En pratique, il suffit que les arêtes de rupture soient fixées à 0,10 mm près ; on peut, pour reconnaître à quelle position de la manivelle correspondent les différents écarts, adopter un intervalle de ces arêtes différant des autres de quelques millimètres, ou encore, pour éviter un calcul de correction, placer une interruption supplémentaire au milieu d'un intervalle normal.

Il n'est pas absolument nécessaire, d'ailleurs, que la vitesse du tambour soit égale exactement à m fois celle du volant ; il suffit qu'elle soit rigoureusement uniforme et très voisine d'un multiple ou d'un sous-multiple de cette valeur. D'autre part, le déplacement latéral de la pointe n'a pas besoin d'être exécuté rigoureusement avec une vitesse uniforme ; on peut le produire tout simplement à la main.

Quant à ce qui concerne la précision que l'on peut obtenir avec cet appareil, l'auteur donne les renseignements suivants :

Pour que l'écart linéaire mesuré sur le volant concorde avec l'écart angulaire, il faut que le volant soit un cercle parfait et parfaitement centré, en un mot qu'il « tourne rond ». Avec un peu de soin, on arrive à réaliser une égale tension de la lame conductrice sur toute la périphérie et à fixer la position des arêtes de rupture à 0,1 mm près.

Le balai B doit être très mince et taillé sous un angle très aigu, le courant primaire très faible pour ne pas provoquer une grosse étincelle : d'ailleurs, l'essai ne dure qu'un instant et on relève le balai aussitôt qu'il est terminé, de façon à ne pas détériorer les arêtes de rupture.

Avec l'aide de la loupe et du vernier, on peut apprécier la position du point marqué sur le tambour à 0,05 mm près, car l'étincelle laisse, au milieu d'un espace de 0,5 à 1 mm où la suie est soufflée, un point très petit, à peine visible à l'œil nu, mais facile à observer à la loupe.

Pour démontrer la précision des trois éléments : rupture du courant, éclatement de l'étincelle et lecture de la position du point, on a disposé (fig. 2) sur l'axe du tambour un disque conducteur, avec des plaques d'isolant ; sur ce disque, on fait frotter un balai, monté dans le circuit primaire de la pile. Les points obtenus doivent être en ligne droite. Or, sur 21 lectures, on a trouvé, pour 10 lectures, 927,7 mm ; pour 9 lectures, 927,65 mm, et pour 2 lectures, 927,8 mm ; les écarts sur la valeur moyenne étaient donc plus petits que 0,10 mm pour une circonférence de 1 000 mm.

L'obtention d'une vitesse rigoureusement uniforme du tambour est une des parties les plus délicates ; elle est très difficile à réaliser, même avec des moments d'inertie relati-



vement grands et un moteur alimenté par des des accumulateurs.

L'auteur donne ici les résultats d'essais qu'il a effectués, à l'usine Siemens et Halske de Charlottenburg, sur une machine à vapeur commandant une dynamo, qui marchait en parallèle avec d'autres unités, sous une charge à peu près constante de 570 kw.

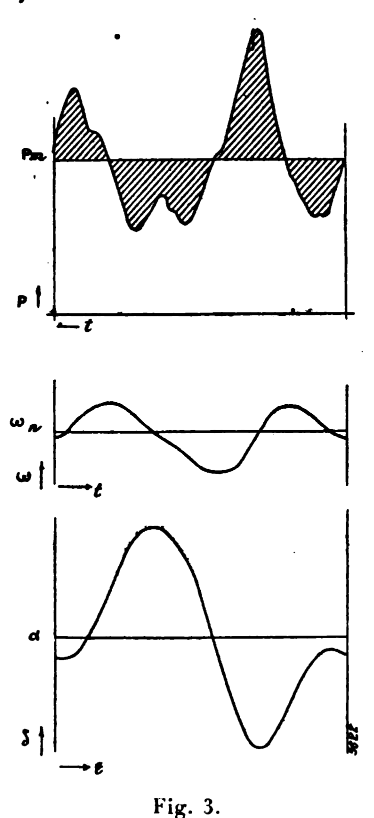


Fig. 3.

Des diagrammes relevés à l'indicateur ont permis, en tenant compte des renseignements communiqués par la maison G. Kuhn, de Stuttgart-Berg, constructeur de la machine à vapeur, sur le moment d'inertie du volant et sur les masses en mouvements alternatifs, de construire les diagrammes des puissances P, des vitesses ω, et des égards angulaires α (fig. 3).

La bande d'acier utilisée avait une largeur de 50 mm et une épaisseur de 0,1 mm, et portait 24 arètes de rupture, dont 23 à une distance respective de 491 mm, et la vingt-quatrième à 553,7 mm. Les autres données étaient : nombre de tours en moyenne par minute, 127 ; vitesse angulaire du tambour, 12 × 127 t : m ; circonférence du tambour, 1 000 mm, divisée en 1 000 parties égales ; vernier au 1/20 ; largeur du tambour, 10 cm ; direction de rotation, telle que les nombres de la graduation allaient en décroissant.

Les points se trouvaient au voisinage de deux génératrices situées dans un plan diamétral : la figure 4 donne une vue très grossie de la répartition des points dans l'essai n° 3.

Les figures 5 et 6 montrent l'allure de l'écart angulaire dans deux essais, n°s 1 et 2. La ligne moyenne est différente d'une droite, par suite de ce fait que la vitesse moyenne n'est pas constante dans les différents tours successifs.

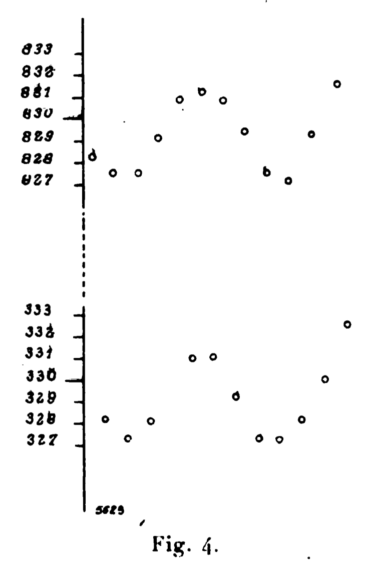


Fig. 4.

Dans le but de contrôler les indications de l'appareil, on peut disposer plusieurs balais en série, deux par exemple, dont l'une se trouve au milieu d'un intervalle conducteur pendant que l'autre est sur une arète de coupure ; on aura ainsi deux séries de valeurs différentes pour chaque position de la manivelle, et deux courbes qui se contrôleront l'une l'autre.

Partant des écarts angulaires, on peut remonter au diagramme des vitesses angulaires en supposant que dans l'intervalle de deux lectures, la vitesse angulaire reste constante.

La figure 7 donne ce diagramme de la vitesse angulaire déduit de l'essai n° 1, la figure 8, les mêmes diagrammes déduits des essais n°s 1, 2 et 4.

La figure 8 *a* donne, de plus, la comparaison de ce diagramme avec celui qui a été déduit du relevé à l'indicateur (courbes pointillées), aussi

bien au point de vue des vitesses angulaires qu'au point de vue des écarts angulaires ; le coefficient d'irrégularité déduit de l'indicateur étant $\frac{1}{170}$, le coefficient vrai est seulement $\frac{1}{210}$; de même les écarts angulaires sont respectivement $0^\circ,138$ et $0^\circ,093$.

Fig. 5.
Essai n° 1

Fig. 6.
Essai n° 2.

Fig. 7.
Essai n° 1.

Fig. 8.

Fig. 8 *a*
Essai n° 1

Fig. 8 *b*
Essai n° 2

Fig. 8 *c*
Essai n° 4

Fig. 5 à 8.

La figure 8 *c* est relative à l'emploi de deux balais en série.

On peut remarquer qu'avec deux balais et deux bandes d'acier montés respectivement sur deux machines marchant en parallèle, le dispositif de l'auteur donne immédiatement et directement le mouvement pendulaire de deux machines, l'une par rapport à l'autre. L'auteur termine sa communication par le détail des calculs de correction relatifs aux essais décrits plus haut [1].

A. M.

---

[1] M. P. Eiwecke a proposé, (*Elektrotechnische Zeits-*

Sur la théorie de la commutation, par **F. Punga**. *Zeitschrift für Elektrotechnik*, t. XX, p. 366, 27 juillet 1902 et suivants.

Il y a quelques années, on croyait que, dans les dynamos à courant continu, la commutation ne pouvait s'effectuer que sous l'action de la force électromotrice induite dans les bobines en court-circuit. Cette opinion erronée s'appuyait sur ce

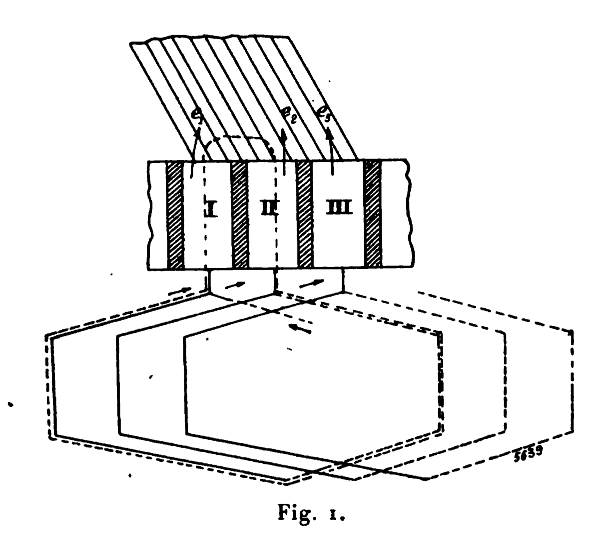


Fig. 1.

fait que la plupart des machines, construites en ce temps-là, nécessitaient pour fonctionner sans étincelles, que les balais fussent décalés en avant dans un champ magnétique assez intense. Maintenant que dans les grandes dynamos modernes l'angle de décalage des balais est très faible et constant pour toutes les charges, on est arrivé à une conception différente du phénomène, dans lequel beaucoup d'autres facteurs jouent un rôle plus important que la force électromotrice dite de commutation.

L'auteur s'est proposé d'établir des formules simples tenant compte autant que possible de tous les facteurs, et de démontrer que l'élément le plus important dans la commutation est la relation entre la résistance de contact des balais et l'irrégularité de la densité de courant sous le balai.

Considérons (fig. 1) une section en court-circuit (I,-II), et pour simplifier les calculs, introduisons au lieu de la résistance de contact, les chutes de tension entre la lame et le balai, e_1, e_2, e_3. Désignons les densités de courant, dans les lames I, II et III en ampères : cm², par j_1, j_2, j_3 ; par ρ, la résistance de contact par cm² : dans le circuit de la section considérée intervient seulement

$$e_2 - e_1 = (j_2 - j_1)\rho.$$

Tant que $j_2 - j_1$ est nul, c'est-à-dire la densité de courant uniforme sous le balai, la résistance de contact n'a aucune influence sur la commutation ; la force électromotrice à développer dans la section est celle qui est nécessaire pour renverser un courant J, dans une bobine de résistance R et de self-induction L, en un intervalle de temps T, soit d'après Fischer Hinnen,

$$E_s = 2RJ \frac{e^{\frac{RT}{L}} + 1}{e^{\frac{RT}{L}} - 1},$$

où e désigne 2,718....

R exerce une très faible influence dans cette formule, et on peut le faire égal à 0 (¹), ce qui donne

$$E_s = \frac{2LJ}{T}.$$

Si b est la largeur des balais en centimètres, et v_k la vitesse périphérique du collecteur en centimètres : seconde, on a

$$T = \frac{b}{v_k},$$

pour les enroulements en parallèle.

Ceci posé, supposons dans la figure 1, que la densité de courant soit plus petite sous le segment I qui entre sous le balai que sous le segment II ; alors la tension e_2 étant plus grande que la tension e_1, la différence $e_2 - e_1$ est positive et agit dans le même sens que la force électromotrice E induite par le flux extérieur, d'où la conclusion suivante très importante :

Si dans la section en court-circuit la force

---

chrift, t. XXIII, p. 858, 8 septembre 1902.) la modification suivante à la méthode de Klönne :

Au lieu de faire inscrire par une pointe et des étincelles des points sur un tambour entraîné à vitesse constante, on prend deux appareils télégraphiques, actionnés l'un par un pendule, l'autre par les contacts disposés sur le volant, et on fait inscrire ces deux appareils sur une même bande de papier entraînée à une vitesse sensiblement uniforme. A. M.

(¹) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXX, p. 63, 11 janvier 1902, *Pichelmayer*.

électromotrice extérieure induite E est plus petite que la force électromotrice nécessaire à la commutation E_s, la densité de courant sous le balai se répartit de façon que la différence des chutes de tension dues à la résistance de contact agisse dans le même sens que E pour produire la commutation, c'est-à-dire que la densité de courant augmente du côté où la lame va quitter le court-circuit et diminue de l'autre côté ; et inversement.

L'auteur considère d'autre part les étincelles perceptibles à l'œil, comme résultant d'une trop grande densité de courant au commencement ou à la rupture du court-circuit. Il étudie ce qui

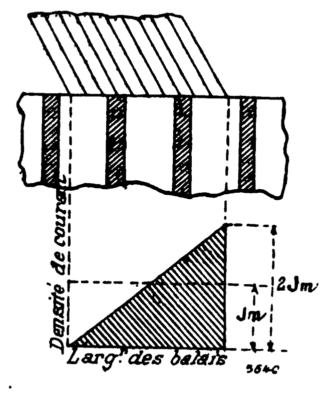


Fig. 2.

se passe dans le cas d'une densité de courant variant de zéro à deux fois la densité moyenne j_m, suivant le tracé de la figure 2, en substituant à la densité de courant instantanée, la valeur moyenne supposée constante pendant le court-circuit.

La force électromotrice $(e_1 - e_2)$ apportée à la commutation varie avec le nombre de lames recouvertes par le balai : considérons d'abord le cas d'un balai couvrant deux lames (fig. 3). La section I-II, entre en court-circuit ; alors

$$e_1 = \rho j_1 = 0$$

$$e_2 = \frac{e_m}{2},$$

où

$$e_m = \rho j_m$$

e_m et j_m, étant des valeurs moyennes correspondant à une répartition uniforme de la densité de courant sous le balai.

Au commencement du court-circuit on a donc :

$$e_2 - e_1 = \frac{e_m}{2} - 0 = \frac{e_m}{2}.$$

Cette différence augmente proportionnelle-

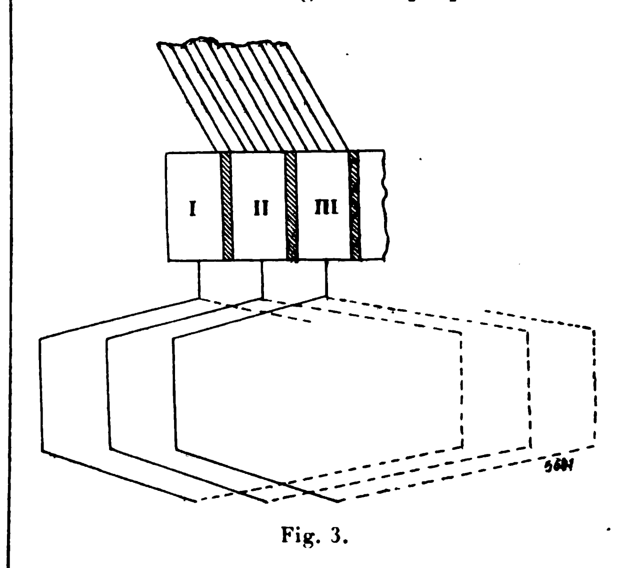


Fig. 3.

ment jusqu'à un déplacement de 1 lame. Alors la valeur devient :

$$e_2 = \frac{3}{2} e_m$$

$$e_1 = \frac{1}{2} e_m$$

$$e_2 - e_1 = e_m.$$

Puis la différence $e_2 - e_1$ diminue proportionnellement jusqu'à ce que, pour un déplacement total de 2 lames (lame II quittant le balai), l'on ait :

$$e_2 - e_1 = 2e_m - \frac{3}{2} e_m = \frac{1}{4} e_m.$$

La valeur moyenne de $e_2 - e_1$ est

$$e_2 - e_1 = \frac{3}{4} e_m.$$

Posons $e = e_2 - e_1 = \alpha e_m$; pour différents nombres de lames recouvertes par un balai, on a les valeurs suivantes de α :

Nombre de lames.	1	2	3	4
α	1	3/4	5/9	7/16

résultats résumés dans la courbe de la figure 4.

La différence $E_s - E$ représentant la force électromotrice que la dissymétrie de répartition



de la densité de courant doit produire dans la commutation, et αe_m la force électromotrice que produit la dissymétrie définie par la figure 2 (de 0 à $2j_m$), le rapport

$$\frac{E_s - E}{\alpha e_m},$$

caractérise, dans des machines de même densité moyenne j_m sous le balai, le degré d'irrégularité de la répartition de la densité de courant par rapport à celle qui a été prise comme base ;

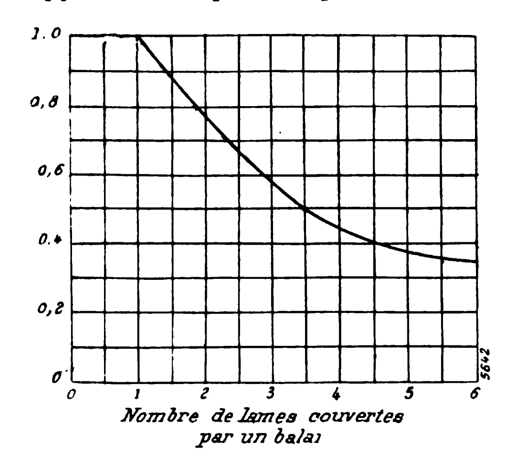


Fig. 4.

d'autre part, entre deux machines de densité moyenne différente, il est évident que cette irrégularité croît comme la densité moyenne ; finalement, et c'est là la conclusion importante et fondamentale du travail de l'auteur :

On peut considérer comme caractérisant la tendance d'une machine à produire des étincelles la grandeur de l'expression

$$F = \frac{E_s - E}{\alpha e_m} j_m$$

ou après transformation :

$$F = \frac{2\frac{LJ}{T} - E}{\alpha \rho}. \qquad (1)$$

La formule montre dès l'abord que cette tendance à la production des étincelles augmente comme le courant et la self-induction de la section. Il faut d'ailleurs remarquer que L désigne là, comme dans les formules d'Arnold, de Rothert, Hobart, Pichelmayer, etc., un coefficient d'induction comprenant non seulement le flux propre de la section, mais aussi les flux traversant cette section et provenant des sections voisines commutées en même temps.

Deux cas bien distincts peuvent se présenter dans l'exécution d'une dynamo, pour lesquels la formule (1) conduit à des solutions très différentes.

Si une dynamo est destinée à travailler sous charge constante, la solution la plus simple et la plus économique est de la faire fonctionner sous un décalage de balais, tel que $E = E_s = \frac{2LJ}{T}$. Dans ces conditions la résistance de contact ρ n'intervient plus ; on peut employer des balais de cuivre et obtenir ainsi un meilleur rendement. L'enroulement à préférer dans ce cas est l'enroulement série-parallèle d'Arnold, qui, malgré une faible réaction d'induit, assurera une égale répartition du courant dans les divers circuits de l'armature, quelles que soient les irrégularités possibles dans les circuits magnétiques en parallèle.

Au contraire pour les dynamos à charge variable, on ne peut compter sur le champ de commutation, surtout qu'on désire en général avoir un calage fixe, et pour maintenir F dans des limites acceptables, il faut, d'une part, adopter des balais de résistance spécifique de contact élevée et faire E_s aussi petit que possible.

Dans ce cas, à cause de la grande valeur de la résistance de contact des charbons, l'auteur estime qu'il vaut mieux s'en tenir à l'enroulement parallèle ordinaire, à l'exclusion des enroulements série-parallèles d'Arnold, qui présentent l'inconvénient de donner naissance à des répartitions inégales des courants dans les différents circuits, montés en dérivation les uns sur les autres par l'intermédiaire des balais, et par conséquent sensibles aux variations de position ou de pression des balais. Arnold a bien signalé un remède à cet état de choses, en proposant dans ces sortes d'enroulements, l'adoption de connexions équipotentielles, mais c'est une grande complication, pour laquelle il convient d'attendre la confirmation de la pratique.

Avec l'enroulement en parallèle, on peut se dispenser de l'emploi de connexions équipotentielles : il suffit de donner à l'induit une réaction assez grande pour que des différences appréciables des forces électromotrices induites dans les circuits en parallèle n'y amènent que peu de dissymétrie dans les courants ; l'auteur

estime qu'on peut aller jusqu'à donner aux ampères-tours induits la même valeur qu'aux ampères-tours inducteurs.

On remarquera que pour ce second cas de machines, où l'on néglige E, l'on retombe dans les formules données par Arnold, Hobart, Pichelmayer, Rothert, etc., caractérisant la tendance aux étincelles par le terme $\frac{E_s}{\alpha\rho}$.

L'auteur a appliqué sa formule à l'étude de deux machines.

DONNÉES DES 2 MACHINES	MACHINE 1	MACHINE 2
Diamètre de l'armature.	1 170 mm.	2 500 mm.
Longueur totale du noyau	312 »	540 »
Longueur effective du fer	252 »	465 »
Nombre des encoches. .	150 »	286 »
Profondeur des encoches	32,5 »	50 »
Largeur des encoches. .	14,8 »	13 »
Largeur des pleins { au fond. . . .	8,3 »	13,3 »
Largeur des pleins { à la périphérie	9,6 »	14,5 »
Nombre de conducteurs par encoche.	8	4
Section des conducteurs.	2,5 × 11,4 mm²	4 × 18 mm²
Longueur axiale de la pièce polaire.	312 »	490 »
Arc polaire.	430 »	400 »
Arc polaire : nombre de paires de pôles / périphérie	0,70 »	0,72 »
Entrefer.	8 »	8 — 12 mm.
Diamètre du collecteur.	925 »	2 080 »
Longueur du collecteur.	230 »	270 »
Nombre de lames. . . .	600	572
Nombre de lames par dents.	4	4
Largeur des lames. . .	4,25 »	10,6 »
Epaisseur de l'isolant. .	0,75 »	0,8 »
Nombre de lignes de balais.	6 »	14 »
Nombre de balais par ligne.	4	10
Surface de contact des balais (charbon). . .	44,5 × 15,8 mm²	22 × 25 mm²
Enroulement.	Tambour imbriqué parallèle	Série parallèle, $a = 5$, $p = 7$
Longueur moyenne d'une spire.	2 150 mm.	2 700 mm.
Tension moyenne entre deux lames.	5,5 volts	13,4 volts
Ampères-tours induits par pôle	7 600	7 350
Décalage des balais. . .	8 lames, soit 8 p. 100	

Machine 1. — Dynamo génératrice de 250 kilowatts à 6 pôles, décrite dans l'ouvrage *Electric generators* de Parshall et Hobart, compound, 500 volts à vide, 550 volts en charge, 320 t : m.

Machine 2. — Dynamo génératrice Pichelmayer, 1 000 kilowatts, 14 pôles, 95 t : m, 550 volts, 1 820 ampères.

1° ÉTUDE DE LA MACHINE 1 AVEC ENROULEMENT EN PARALLÈLE. — Un balai couvre 3,15 lames ; l'auteur calcule les valeurs de F correspondant à 3 et 4 lames.

Calcul de L. — L'auteur adopte le chiffre de 0,8 C. G. S. pour 1 cm de longueur de conducteur dans l'air et 1 ampère-tour (chiffre de Hobart) [1]. Pour la partie de la spire (fig. 5), dans le fer, il utilise des formules données par Arnold, Niethammer, etc., et il arrive aux deux valeurs :

$$L_1 = 1\,241.\,10^{-8} \quad \text{(balai couvrant 3 lames)}$$
$$L_2 = 1\,590.\,10^{-8} \quad (\;\text{»} \quad \text{»} \quad 4 \quad \text{»}\;)$$

Calcul de T. — La vitesse périphérique du collecteur est 1 550 cm : sec, donc

$$T_1 = \frac{1,5}{1\,550} = 0,96\ 10^{-3}.$$
$$T_2 = 1,29\ 10^{-3}.$$

Calcul de J. — Le courant total est 455 ampères, d'où

$$J = \frac{455}{6} = 76 \text{ ampères.}$$

Calcul de E_s — Les deux valeurs de E_s déduites de la formule $E_s = \frac{2LJ}{T}$, sont donc :

$$E'_s = 1,97 \text{ volt}$$
$$E''_s = 1,88 \text{ volt.}$$

Calcul de E. — C'est de beaucoup le plus difficile de tous. Pour un décalage de 8 lames, on a la disposition de la figure 6.

La distance de la corne polaire à la section commutée est environ 4,2 cm ; l'auteur admet 10 p. 100 de plus pour la ligne de force ; comme force électromotrice, il compte la différence de potentiel minimum absorbée par l'entrefer et les dents, soit, d'après Parshall et Hobart, 3 640 + 890 = 4 530 ampères-tours.

L'induction correspondante est donc à vide :

$$\mathfrak{B} = 1,25\ \frac{4\,530}{4,6} = 1\,230.$$

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXX, p. 215, 8 février 1902, *Hobart*.



En charge, sur les 8920 ampères-tours inducteurs totaux, 1330 sont utilisés dans le reste du circuit magnétique ; il n'y a donc plus pour agir sur la bobine que 8920 — 1330 = 7590

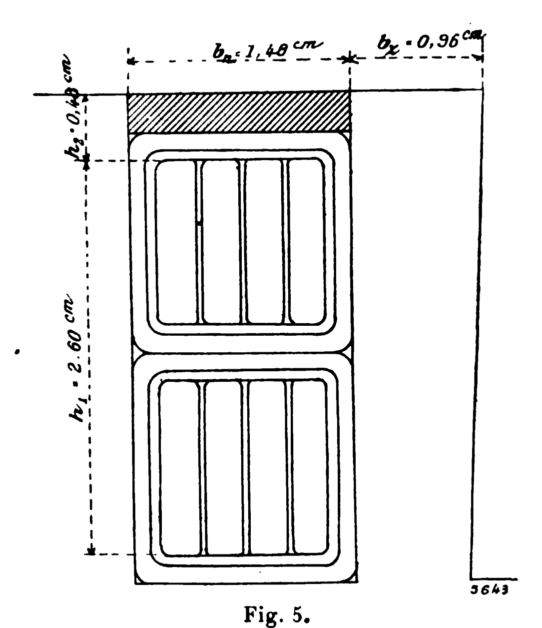


Fig. 5.

ampères-tours inducteurs ; d'autre part les 7600 ampères-tours induits les détruisent, et la force électromotrice engendrée dans la spire est nulle en charge : $\mathfrak{B} = 0$.

Pour 50 p. 100 de surcharge on trouve de même

$$\mathfrak{B} = -580.$$

Les trois forces électromotrices correspondantes sont 1,35, 0, et — 0,64 volt.

Adoptons pour ρ, 0,2 ohm : cm².

On obtient les résultats suivants pour F.

Largeur de balais 15 mm (3 lames)	vide	— 12,1
	pleine charge	+ 17,7
	50 p. 100 surcharge	+ 32,5
Largeur de balais 20 mm (4 lames)	vide	— 15,4
	pleine charge	21,5
	50 p. 100 surcharge	39,6

Et par interpolation pour le cas réel de largeur 15,8 (3,15 lames),

à vide	— 12,6
pleine charge	18,3
50 p. 100 surcharge	33,6

L'auteur estime d'ailleurs que le fonctionnement d'une machine est sûrement bon, lorsque F est inférieur à 16 ou 20, et mauvais lorsque F dépasse 28 à 38 ; ceci d'après de nombreux essais.

2° Étude de la machine 2 (Pichelmayer) a enroulement série-parallèle. — Un balai

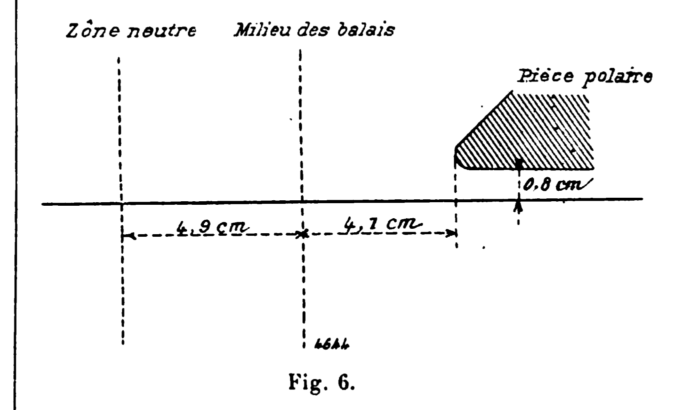


Fig. 6.

couvre ici deux lames, mais ce n'est pas cette valeur qui donne la durée de la commutation, à cause des propriétés spéciales de l'enroulement série-parallèle.

Appelons N_1 le nombre d'éléments de bobinage (ici 1144), $2a$ le nombre de dérivations,

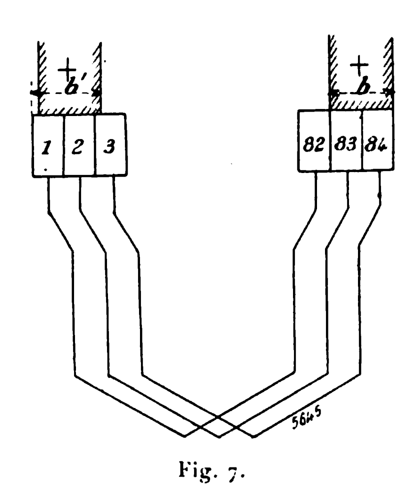


Fig. 7.

et y le pas (distance de deux lames du collecteur reliées par une section de l'induit), nous avons formule d'Arnold) :

$$N_1 = 2yp \pm 2a.$$

Dans la machine 2, $p = 7$, $a = 5$, par suite $y = 81$.

La lame 1 du collecteur est reliée à la lame 82 (fig. 7).

....



Ceci posé, on voit sur la figure 7 qu'au moment où commence le court-circuit, une partie, $\frac{a}{p}$ seulement de la lame 1 se trouve sous le balai ; le court-circuit durera donc pendant le temps qui correspond au passage d'une lame sous un balai de longueur plus grande b_1, telle que

$$\frac{b_1}{b} = 1 + \frac{p-a}{p}\,\frac{N_1}{b} = \frac{8}{7}, \text{ dans le cas étudié.}$$

De même le nombre de sections commutées

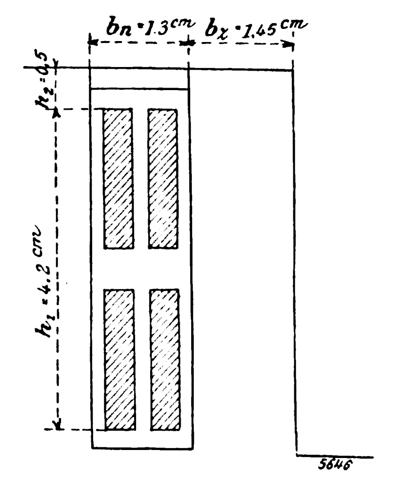


Fig. 8.

en même temps par pôle varie entre 2 et 3, ici 3 pendant 2/7 du temps, et 2 pendant 5/7, en moyenne $2,\frac{2}{7}$ $\left(\text{d'une façon générale } \frac{b}{N_1} + \frac{p-a}{p}\right)$.

Calcul de E_s. — La figure 8 donne le détail d'une dent, et la figure 9 la disposition des conducteurs dans les dents. On peut calculer d'après ces figures la valeur de L. L'auteur trouve

$$L = 1\,545 . 10^{-8}.$$

D'ailleurs

$$J = 182 \text{ ampères},$$

$$T = \frac{8}{7} . \frac{2,2}{1\,032} = 2,44\ 10^{-3} ;$$

d'où

$$E_s = 2,3 \text{ volts}.$$

Calcul de α. — Le coefficient α n'a plus du tout la même valeur dans le cas des enroulements série-parallèles : l'auteur démontre qu'il est égal dans ce cas à :

$$\alpha = \frac{2-c}{1-c+\frac{b'}{b}.c},$$

formule dans laquelle b' désigne la largeur d'une lame du collecteur et d'un isolant, et c la valeur

$$\frac{a}{p}\,\frac{b'}{b}.$$

Dans la machine de Pichelmayer, on obtient

$$\alpha = 0,51.$$

Calcul de E. — L'auteur choisit un décalage de balais de 2,5 lames, et en tenant compte de ce que le nombre d'ampères-tours inducteurs

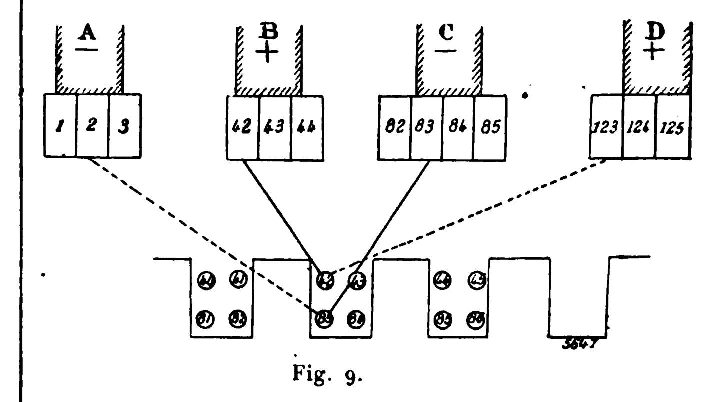


Fig. 9.

correspondant à l'entrefer et aux dents est 13 500, et la longueur d'une ligne de force 4,1 cm, il trouve pour la marche à vide

$$E = 3,9 \text{ volts}.$$

Pour la marche en charge, E est égal à 2 volts.

Calcul de F. — A vide et en charge les deux valeurs de F sont ainsi respectivement

$$-38 \quad \text{et} + 3$$

D'après ce calcul, le fonctionnement en charge aurait lieu sous densité sensiblement constante aux balais, et dans d'assez mauvaises conditions à vide ; mais l'auteur estime que le calcul de E, dans ce cas, est fort douteux à cause de la saturation des cornes polaires et de l'action de l'autre corne polaire, négligée à tort ; il refait le calcul en cherchant les valeurs E_1 et E_2 de la force électromotrice engendrée en tenant compte successivement d'une seule des pièces polaires, et adoptant $E = E_1 + E_2$ (algébriquement). Dans ces conditions, il arrive pour la marche à vide, en pleine charge et avec 50 p. 100 de sur-



charge, aux valeurs suivantes respectives de F :

$$-22, \quad +24.5 \quad \text{et} +46,$$

qui montrent que la marche à vide et la marche à pleine charge seront respectivement moins défavorable ou favorable qu'on pouvait le croire d'après le premier calcul. A. M.

Sur l'état de développement des éléments secs, par **J. Zacharias**. *Centralblatt f. Accumulatoren, Elementen-und Accumobilenkunde*, t. III, p. 297 et 309, 1er et 15 décembre 1902.

L'auteur indique les différentes utilisations des petits éléments secs : lampes de poche, lampes pour l'armée, pour la médecine, etc,. Les dimensions des deux éléments les plus couramment employés sont : 55 mm hauteur et 20 mm de diamètre pour le plus petit, et 70 mm de hauteur et 35 mm de diamètre pour le plus gros. Ordinairement, trois éléments semblables sont groupés en tension et soigneusement isolés. Les lampes utilisées consomment de 0,25 à 0,30 ampère sous 3,5 à 4 volts.

La construction de si petits éléments n'est pas sans difficultés. Dans les conditions ordinaires d'emploi, l'utilisation du dépolarisant ne dépasse pas 25 p. 100. Pour l'immobilisation, on emploie soit la gélatine, soit le plâtre, soit encore la pâte à papier qui consiste habituellement en pur papier de soie extrêmement fin. L'introduction de l'électrolyte, chlorure de zinc, est également assez délicate.

Pour donner une idée de la capacité de ces éléments aux faibles régimes, l'auteur signale un élément du petit modèle (hauteur 55 mm diamètre 20 mm) qui depuis 4 semaines actionne une horloge électrique qui absorde 7 milliampères. Il indique l'avantage qui résulte, dans les installations de télégraphie privée, de l'emploi de fils de section suffisante de façon à réduire le nombre d'éléments.

Dans la construction des petits éléments pour batteries de poche, on emploie des baguettes de charbon de 6 à 7 mm d'épaisseur, la dépolarisant placé tout autour occupant un diamètre de 14 à 16 mm. Entre l'électrode de zinc et ce dépolarisant, l'intervalle n'est que de 1,5 à 2 mm. Pour séparer le plus possible le dépolarisant du zinc, on a soin de fixer dans l'intervalle quatre petits tubes de verre et de disposer entre le zinc et le récipient une plaquette de mica.

Trois éléments semblables sont placés dans une enveloppe de papier et garnis de résine qu'on perfore de un à trois trous à la partie supérieure, pour le dégagement gazeux. Si la construction n'est pas très soignée et si l'isolement n'est pas suffisant, ces batteries ne durent que très peu de temps. Les meilleures, utilisées avec des lampes à incandescence, ne donnent guère plus de quinze minutes de service; aussi ne sont-elles utilisées que pour des éclairages de quelques secondes espacés de longs intervalles. Elles peuvent rendre ainsi de très grands services.

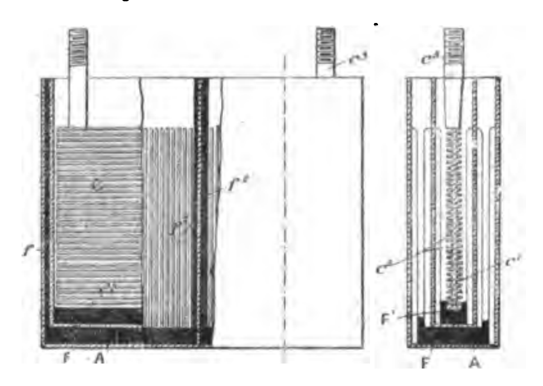
Comme moyen de contrôle de la bonne qualité d'un élément, on emploie très souvent la méthode de fermeture en court-circuit sur un ampèremètre qui doit marquer de 4 à 7 ampères. Cette méthode est irrationnelle. Un procédé plus recommandable consiste à mesurer la tension aux bornes à l'aide d'un voltmètre de 3 volts, de résistance aussi élevée que possible (1 500 ohms par exemple). On fait ensuite rapidement une deuxième lecture pendant que l'élément travaille sur une résistance de 10 ohms. Pour les bons éléments, on obtient ainsi 2,5 volts pour la première lecture, et 1,4 volt pour la seconde. Dans ces deux lectures on déduit la résistance intérieure, car on a $r = \left(\frac{E}{e} - 1\right)$ soit dans l'exemple cité $r = 10\left(\frac{1,5}{1,4} - 1\right) =$ 0,71 ohm.

Si l'élément est déjà déchargé sa tension sera plus faible. La Société Siemens et Halske construit un appareil d'essai qui permet d'effectuer rapidement deux mesures par la méthode ci-dessus. Il comporte un petit volmètre de précision de 0 à 3 volts, marchant dans les deux sens, avec 0 au milieu. Une résistance de 10 ohms permet la deuxième opération. L'appareil sert simultanément d'ampèremètre pour les courants jusqu'à 300 milliampères. Pour les batteries plus importantes et pour les plus gros éléments on a prévu une résistance en tension permettant de mesurer jusqu'à 30 volts, et une résistance de 1 ohm pour la mesure à circuit fermé. L. J.

Perfectionnements dans les accumulateurs ou piles secondaires, par **Apple**. Brevet français 318 963 du 22 février 1902. Brevet anglais 4 521 du 22 février 1902.

La figure 1 représente l'élévation d'une unité

de pile, en partie en coupe ; la figure 2 est une élévation en coupe transversale, de la figure 1 ; la figure 3 est une vue en plan ; la figure 4, une vue en coupe et en plan, arrachée d'une boîte à double compartiment contenant chacun deux cellules étanches, trois couples électriques étant disposés dans chaque compartiment. La figure 5 est une vue semblable d'un compartiment simple contenant 2 cellules et une électrode centrale. Enfin, la figure 6 représente une élévation en coupe.



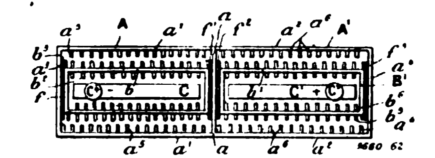


Fig. 1 à 3.

A et A¹ forment une boîte réceptrice extérieure, divisée au centre par la cloison a, le tout en même matière que celle des électrodes. B et B′ sont des cellules simples faites en matière similaire et s'engageant dans les conpartiments respectifs. Les éléments ou plaques d'électrodes CC¹ sont placés dans les cellules B et B¹. Dans les figures 4, 5 et 6, les cellules B^2 et B^3 sont montrées à l'intérieur et isolées des cellules B et B¹.

a^1, a^2, a^3 et a^4 sont les parois extérieures des boîtes réceptrices extérieures respectives. Les parois a^1 ont des nervures faisant saillie intérieurement a^5, et les parois a^2 ont des nervures semblables a^6 entre lesquelles la matière active de la pile doit se fixer. Les cellules intérieures B et B¹ se composent de parois b et b^1 ; ces parois latérales ont des nervures faisant saillie intérieurement et extérieurement b^2, b^3, b^5 et b^6 respectivement.

Les cellules B^2 et B^3 sont munies de nervures intérieures et extérieures b^6, b^7, b^8 et b^9 respectivement. Ces nervures sont figurées verticalement sur le dessin, mais elles peuvent être également horizontales.

Les plaques électrodes CC¹ possèdent des nervures c^2 c^3 semblables à celles des parois des cellules. Dans ce cas, elles sont montrées disposées horizontalement ; la matière active se place entre ces nervures. Les bornes sont figurées en c^4 et c^5.

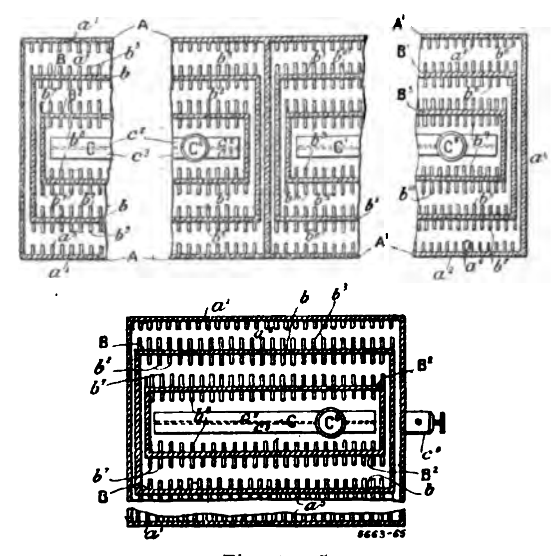


Fig. 4 et 5.

F est un isolateur placé au fond du compartiment AA¹ et rainé sur sa face supérieure afin de recevoir les cellules intérieures B et B′. Il est de préférence en caoutchouc vulcanisé et muni à chaque bout de bandes verticales ff^1 en caoutchouc vulcanisé, qui séparent les cellules intérieures des parois latérales de la cellule extérieure.

F¹ est une bande semblable isolant C et C¹ des parois de la cellule dans laquelle elle se trouve. F² sépare les cellules formant réseau.

On verse l'électrolyte dans les compartiments respectifs. Si la force électromotrice d'un couple simple est 2 volts, on aura ici 8 volts pour l'ensemble. On peut encore augmenter le nombre des cellules (fig. 4, 5 et 6) et obtenir une tension plus élevée.

Les cellules peuvent être venues de fonte, embouties ou refoulées par pression hydraulique. Elles sont en plomb ou en alliage quel-

conque et les intervalles des nervures sont garnis de matière active (minium ou autre).

Le brevet recommande l'emploi de ces éléments en automobilisme et dans les cas où des joints, faits en soudant ou en assemblant les

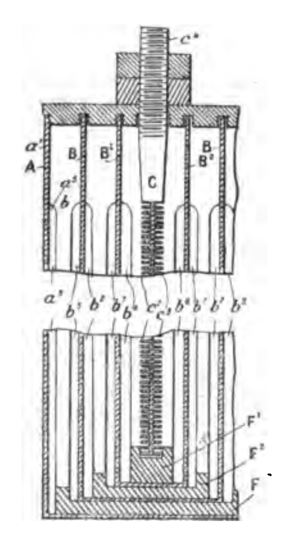


Fig. 6.

pièces métalliques pour assurer le circuit électrique, sont une source d'ennuis par suite des trépidations.

Les cellules A et A[1] peuvent être rendues indépendantes comme en figure 5; la tension est alors de 4 volts seulement au lieu de 8.

L. J.

TÉLÉPHONIE

La nouvelle station téléphonique centrale de Lausanne. *Journal télégraphique*, t. XXVI, 265-270 25 décembre 1902.

I. Les locaux. — Le service téléphonique de Lausanne est installé depuis le 12 juillet dernier dans le nouvel Hôtel des Postes. Il y occupe des locaux au sous-sol, au 2e, au 3e étage (fig. 1) et une pièce dans les combles (1).

II. L'appareillage. a)] *Le service local.* — L'appareillage du service local comprend 7 tables multiples du système à dérivation, ayant chacune une capacité de 6300 lignes doubles, mais équipées actuellement pour 3160. Chaque table multiple se subdivise en trois sections de 200 lignes d'abonnés, dont 140 montées définitivement, et de 40 lignes de service.

A gauche de la file de tables est une tierce section de 900 jacks, à droite une même de 1200.

Les jacks généraux, disposés par bandes de 20, et ceux de réponse, en séries de 10, sont du type représenté par les figures 2 et 3, Dans les multiples, les séries des jacks de réponse alternent avec des séries de lampes à incandescence à 4 volts, de telle façon qu'immédiatement au-dessus de chaque jack se trouve une lampe qui lui correspond.

Dans le modèle adopté pour les avertisseurs d'appel, à relevage automatique, l'enroulement de ligne n'a que 100 ohms de résistance et est constitué par un fil pouvant supporter un courant de 1 ampère pendant 5 secondes, sans danger pour son isolation. Cette disposition a paru utile pour le cas d'un contact entre les fils téléphoniques et les lignes à courant fort. Les coupe-circuits destinés à protéger les appareils fonctionnent, en effet, par un courant de 0,2 à 0,3 ampère, alors que l'enroulement habituel des avertisseurs à grande résistance peut, dans des conditions données, être détérioré par des intensités beaucoup plus faibles. Le circuit de

(1) Le sous-sol sert d'entrepôt pour le gros matériel des lignes, à l'exception d'une pièce dans laquelle a été disposé l'appareillage de raccordement de l'installation extérieure avec les câbles souterrains.

Au 2e étage se trouvent les bureaux de l'administration du réseau; bureaux des chefs, des aides, etc.

Au 3e sont les locaux attribués plus spécialement au service des communications, c'est-à-dire à la station centrale proprement dite. La salle du service local, placée côté du lac, dans l'axe transversal de l'édifice, mesure 25,50 m de longueur, 12,25 m de largeur et 4,5 m de hauteur, et reçoit le jour par cinq grandes fenêtres et par une baie vitrée de 13,30 m sur 6,50 m aménagée dans le plafond. Elle est en communication directe d'un côté avec la salle du service interurbain, de l'autre côté avec le bureau du surveillant de la station centrale; à ce dernier local font suite les pièces renfermant le tableau de distribution et les accumulateurs. La salle du service local communique en outre, par un escalier tournant, avec les bureaux d'administration de l'étage au-dessous. La salle du service interurbain a 12,20 m de longueur, 8,25 m de largeur et 4,50 m de haut. Trois fenêtres lui assurent un jour suffisant. Sur la façade côté de la place Saint-François sont aménagés des vestiaires, une salle pour la réception et la transmission téléphonique des télégrammes, un réfectoire et des bureaux. Viennent ensuite, dans l'une des ailes du bâtiment, un magasin et un laboratoire.

Enfin, dans une pièce des combles mesurant 13,90 m sur 5,50 m sont logés les appareils de protection des lignes et le distributeur.

relevage du clapet a une résistance de 35 ohms.

Lorsqu'une communication est établie, les avertisseurs sont exclus automatiquement du circuit de ligne par des relais de « rupture » (35 ohms).

Un avertisseur de 1 000 ohms, à relevage électrique, signale la fin de la conversation en allumant une lampe à incandescence placée sur la tablette des clés, en regard de chaque paire de fiches.

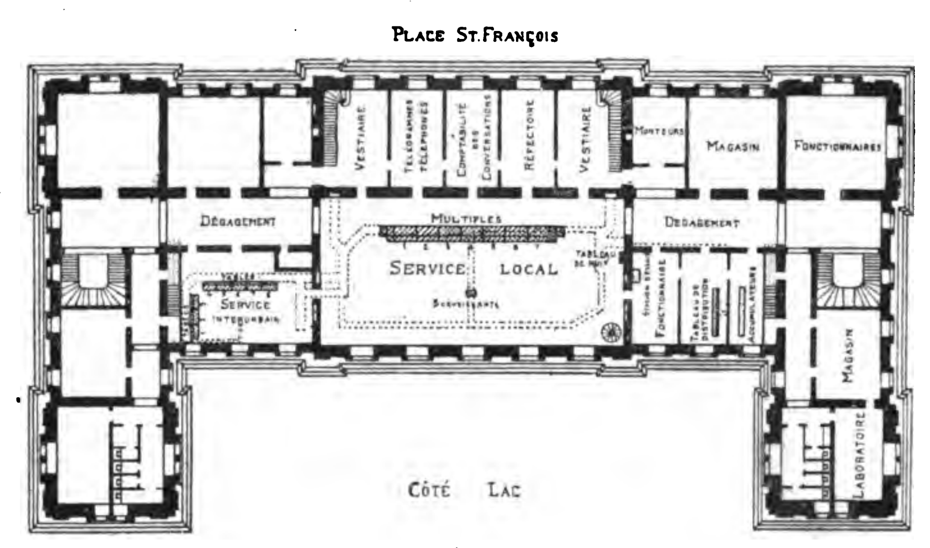


Fig. 1.

Une table d'opératrice comprend : 14 paires de fiches avec cordons à 3 conducteurs, 14 clés d'audition à deux positions, 1 clé d'appel, 1 clé pour le test, 1 fiche pour essais et 1 clé permettant d'isoler les lignes.

Chaque opératrice dispose d'un transmetteur « de poitrine » et d'un téléphone serre-tête [1].

Une table de surveillante et un tableau de signaux pour le service de nuit complètent l'équipement du servic local.

Les raccordements entre les multiples, le distributeur des lignes, les tables interurbaines etc., ont été établis à l'aide de conducteurs bifiliaires en torons ou en câbles de 11 × 2, 11 × 3, 21 × 2, 21 × 3 conducteurs, dont l'isolement est constitué par un mince ruban de caoutchouc entouré d'une couche de soie. Une exception est faite pour les circuits des microphones (fil double de

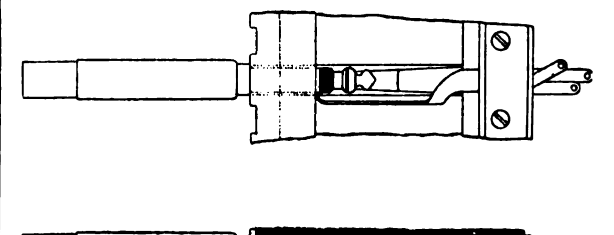




Fig. 2 et 3.

1,5 mm de diamètre, avec isolation de caoutchouc et soie), pour les circuits de distribution du courant des accumulateurs (fils de 2 et 3 mm de diamètre), ainsi que pour le conducteur de retour commun (câble de 152,7 mm, formé par 19 fils de cuivre nu de 3,2 mm).

La distribution des 7 tables multiples dans la salle de service local est indiquée par la figure 1. Si, par la suite, un agrandissement de ce service devenait nécessaire, une file de tables pourrait être placée parallèlement à la première, des

(1) Le transmetteur « de poitrine » est un microphone Solidback, dont la boîte en aluminium, est montée au moyen d'une charnière sur l'extrémité d'une tige creuse coudée, d'environ 15 cm de longueur. Cette tige peut pivoter autour d'une goupille horizontale que portent deux équerres fixées au milieu d'une plaque en forme de croissant, également en aluminium. La plaque étant maintenue sur la poitrine par un cordon, le microphone se trouve constamment à la portée de la téléphoniste. Ce modèle de transmetteur permet, en outre, d'attribuer un appareil à l'usage exclusif d'une seule et même opératrice, ce qui a son importance au point de vue hygiénique. Le transmetteur de poitrine pèse un peu moins de 400 gr.

caniveaux sous plancher ayant été aménagés à l'avance dans ce but, suivant le tracé pointillé de la figure. Il y a toutefois lieu de penser que pour cette station, qui comptait au moment de l'ouverture 1718 lignes et n'en reçoit en moyenne que 100 nouvelles par an, cette éventualité ne se présentera pas avant bien des années.

Le schéma de la figure 4, permettra de reconnaître le fonctionnement de l'installation.

Quand un abonné appelle, le courant arrive dans les multiples par L_1, parcourt l'enroulement l_1 de l'avertisseur A et fait retour à la station de l'appelant par L_2. Le volet de l'avertisseur déclenche et ferme en *a* le circuit de la lampe S

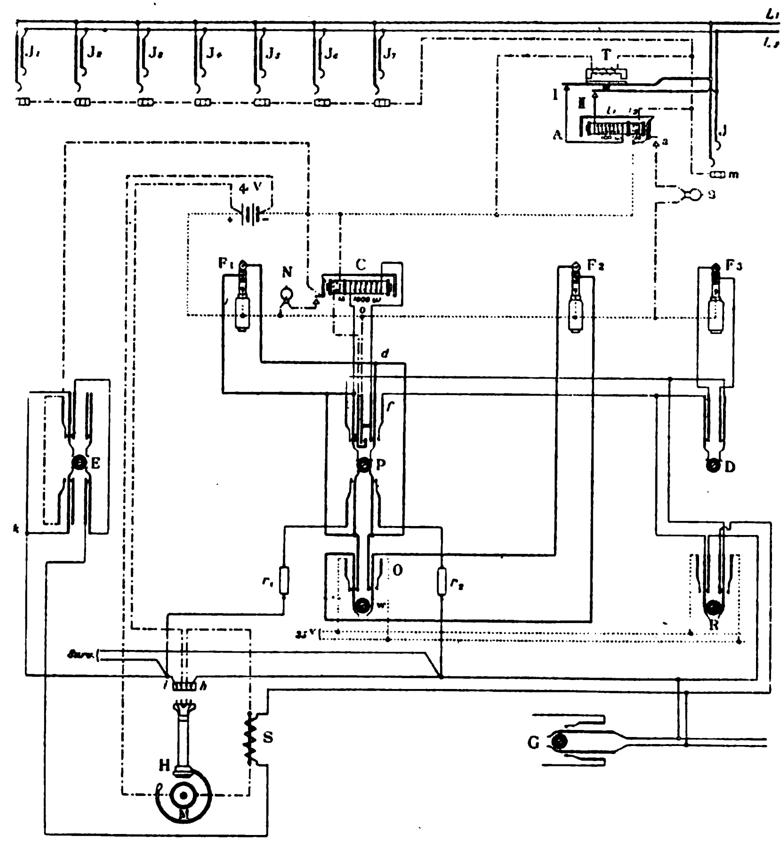


Fig. 4.

placée au-dessus du jack de réponse J de l'abonné (1).

Pour répondre à l'appel, la téléphoniste insère la fiche F_1 dans le jack J et ferme par cette opération deux circuits : le premier (+, *m*, l_2, —) détermine le relèvement du volet de l'avertisseur A et éteint de ce fait la lampe S, le second (+, *m*, T, —) met en fonction le relais de rupture. L'armature de celui-ci étant alors attirée, les contacts I et II sont supprimés et l'avertisseur d'appel est exclu de la ligne. Ces deux mêmes circuits auraient également été fermés dans le cas où l'opératrice aurait introduit dans un autre jack J la fiche F_2, avec laquelle doit se terminer la mise en communication. Il en résulte que, lorsque la ligne de l'abonné appelant sera reliée avec celle de l'a-

(1) L'avertisseur fait ici fonction de relais pour la lampe S, qui, dans la règle, sert seul de signal d'appel. L'emploi de cette dernière a l'avantage d'accélérer le service parce que, se trouvant à proximité immédiate du jack de réponse, elle détermine d'emblée le point précis sur lequel l'opératrice doit porter la fiche et évite une perte de temps dans la recherche du jack de l'appelant. Il a paru indiqué de remplacer le relais dont il est fait usage dans certaines installations de ce genre par un avertisseur, en vue d'obtenir un montage relativement plus simple. L'avertisseur fournit d'ailleurs en même temps un moyen de contrôle et une réserve en cas de défaillance dans le fonctionnement des lampes, par suite de contacts défectueux, de courts-circuits, etc.

bonné demandé, l'avertisseur de ce dernier se trouvera isolé [1] et l'annonciateur de fin de conversation C restera seul branché, en dérivation sur le circuit.

L'opératrice intercale son poste téléphonique dans la ligne de l'appelant par la manœuvre du levier de la clé d'audition P et, après avoir pris connaissance du numéro et du nom de l'abonné demandé, fait le test de la ligne de celui-ci. Elle ramènera en arrière ou poussera le levier de la clé spéciale E et appuiera la tête de la fiche F_2 contre la douille *m* du jack de la ligne demandée. Si cette ligne est occupée, un circuit se ferme par +, douille du jack de l'abonné à appeler, tête de la fiche F_2, *w*, *d*, *f*, *h*, téléphone récepteur II, *i*, *k*, —, et le courant qui y circule produit dans le téléphone le « choc » bien connu. En cas d'absence de ce choc, la communication est établie par l'introduction de la fiche F_2 dans le jack de l'abonné demandé, ce qui — comme on l'a vu — exclut l'avertisseur de ce dernier. Il ne reste plus qu'à appeler ce même abonné au moyen de la clé O. On rappellera — s'il en est besoin — le premier abonné par la clé R, commune à toutes les fiches de la tablette.

Si, dans le cours de la conversation, la téléphoniste doit s'intercaler dans le circuit, elle

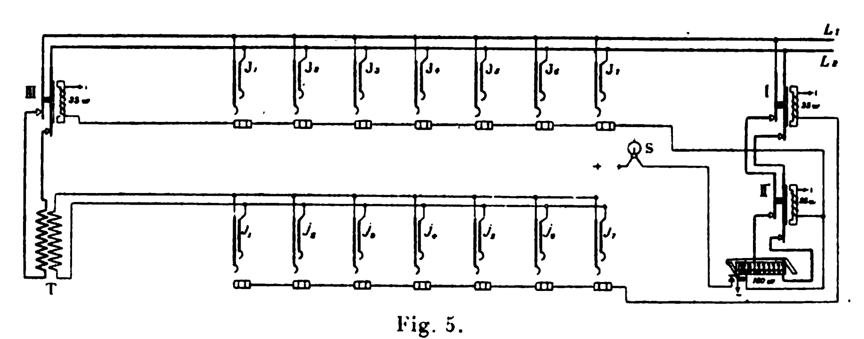


Fig. 5.

poussera la manette de la clé P pour en ramener en arrière le levier et mettra ainsi son téléphone-récepteur *seul* en dérivation sur les lignes des deux correspondants. Les résistances, de 300 ohms, r_1 et r_2 qui entrent en jeu ici ont pour effet de réduire à un minimum la dérivation de courant à travers le téléphone de l'opératrice. Dès que cette dernière abandonne la clé, le levier revient automatiquement à sa position de repos.

Le signal de fin de conversation donné par les abonnés provoque le déclenchement du volet de l'avertisseur C et allume la lampe N (circuit +, N, —). Si, à ce moment, l'opératrice pousse le levier de la clé P par un mouvement en arrière de la manette, un circuit +, *o*, *u*, — sera fermé qui déterminera le relèvement du volet de C et l'interruption du courant de la lampe N. Enfin, lorsque les fiches F_1 et F_2 seront retirées de leurs jacks, les relais de rupture des deux lignes rétabliront les contacts I et II, et les avertisseurs A seront de nouveau raccordés à leurs circuits respectifs.

La clé G sert à relier le système des fiches d'une section à celui de la station voisine, de façon à permettre à une téléphoniste de se charger, à certaines heures de travail restreint, de deux ou de plusieurs groupes d'abonnés.

Il est fait usage de la fiche F_3 et de la clé D pour des essais et des recherches de dérangements des lignes : dérivations, mélanges, etc.

Quelque peu différent est le montage, dans les tables multiples, des lignes des *stations intermédiaires*. L'arrangement adopté est représenté par la figure 5. La ligne L_1 et L_2 de la station intermédiaire traverse les jacks généraux J_7... J_1 et aboutit dans l'un des circuits d'un translateur T, après avoir passé par les contacts du relais de rupture III. Les jacks généraux J_7... J_1 sont disposés par bandes de 10 dans la section du milieu de chaque multiple, entre les jacks de réponse et les jacks généraux des lignes d'abonnés. Au-dessous de chacune de ces bandes est placée une série semblable de jacks j_7... j_1.

(1) L'exclusion complète des avertisseurs d'appel, provoqués par le fonctionnement des relais de rupture, élimine des dérivations nuisibles à la transmission et assure un meilleur équilibre des lignes.



Une dérivation sur L_1 L_2 conduit à l'avertisseur d'appel à travers les contacts de deux autres relais de rupture I et II.

Le courant d'appel de la station intermédiaire parcourt à la fois l'un des circuits du translateur et l'enroulement de ligne de l'avertisseur ; mais, comme la résistance de celui-ci et de 100 ohms, tandis que celle du premier atteint environ 350 ohms, l'avertisseur est actionné par un courant d'intensité suffisante pour le faire déclencher. La lampe S s'allume en regard du jack J_7 dans le multiple VII, où se concentrent et sont contrôlés les appels de toutes les stations intermédiaires.

La réponse est faite en insérant dans le jack J_7 la fiche F_1 (fig. 4), ce qui produit la fermeture du circuit des relais de rupture II et III, en même temps que le relevage du volet de l'avertisseur et, par suite, l'extinction de la lampe S. Les relais II et III, en attirant leurs armatures, excluent de la ligne l'indicateur d'appel et le circuit du translateur, c'est-à-dire toute dérivation inutile.

Si la station intermédiaire demande à être mise en communication avec une autre station intermédiaire ou avec un abonné du réseau dont la ligne est à double fil, l'opératrice laissera la fiche F_1 dans le jack de réponse J_7, et procédera à l'établissement de la communication de la manière déjà décrite, en se servant de la fiche F_2.

Si, par contre, la ligne de l'abonné demandé est à simple fil, la téléphoniste portera la fiche F_1 dans le jack j_7, placé directement au-dessous de J_7, et complétera la communication à l'aide de la seconde fiche F_2.

Dans le premier cas, la conversation s'échangera sur un circuit purement métallique ; dans le second, elle se fera par l'intermédiaire du translateur T.

La fiche F_1 une fois introduite dans j_7, les relais II et III rétablissent les contacts de leurs armatures, et le translateur se trouve intercalé à nouveau dans le circuit de ligne. Par contre, l'avertisseur en est isolé par le relais I, qui entre en fonctionnement par suite de la fermeture du circuit +, F_1, douille de j_7, I, —.

En cas de demande de la ligne intermédiaire par un abonné relié en lacet ou à fil simple, les manipulations se feront dans les multiples à l'aide des jacks généraux J ou j. Le fonctionnement des différents organes reste le même. Le contrôle de durée de la conversation est alors fait par la téléphoniste qui a reçu la demande.

La fin de la conversation est signalée par la lampe N (fig. 4) et par l'avertisseur C, qui reste branché en dérivation de la même façon que lorsque la communication est établie entre deux abonnés.

(*A suivre*) J. R.

DIVERS

Contribution à la théorie de l'interrupteur de Wehnelt, par **E. Klupathy**. *Drude's Annalen*. t. IX, p. 147-164, septembre 1902.

La théorie thermomécanique proposée par Simon pour expliquer le fonctionnement de l'interrupteur de Wehnelt, ne peut expliquer la polarité de l'interrupteur.

L'auteur a cherché si l'action d'un condensateur intercalé dans le circuit est la même quand la pointe est anode ou cathode (1).

Lorsque le fil est fin (0,58 à 0,73 mm) et forme l'anode, la présence d'un condensateur entraîne une diminution de l'intensité ; mais la fréquence des interruptions augmente et les phénomènes lumineux sur le fil diminuent d'éclat. La lampe s'illumine déjà quand la capacité atteint 0,5 microfarad. Si la capacité atteint 2 ou 3 microfarads, le son de l'étincelle secondaire devient plus aigu, mais elle s'éteint plus facilement et le courant reste interrompu. Ceci s'explique facilement : le condensateur étouffe l'étincelle de rupture et la couche de vapeur entourant l'anode maintient le circuit interrompu.

La fermeture du circuit n'est donc pas due à la condensation de la vapeur, mais à l'action mécanique de l'étincelle de rupture.

Lorsque le fil est plus gros (1 mm), le son de l'étincelle secondaire devient plus grave quand on introduit le condensateur et la rupture permanente du circuit se produit pour une capacité beaucoup plus faible. Ce renversement de l'effet du condensateur peut être réalisé aussi en faisant varier la self-induction du circuit.

(1) L'interrupteur se trouve sur le circuit primaire d'une bobine d'induction I (fig. 1.); le courant primaire est fourni par la distribution urbaine à 110 volts. Sur le secondaire, est ménagé un intervalle explosif de 4 cm. Le condensateur K est en dérivation sur l'interrupteur W en même temps qu'une lampe L de 56 volts 16 bougies.



Si la pointe forme la cathode, le phénomène lumineux augmente d'intensité, le son de l'interrupteur devient strident et les étincelles brillantes qui partaient seulement de quelques points de la surface de la cathode, couvrent toute cette surface. En portant la capacité du condensateur jusqu'à 3 microfarads, on n'observe aucune variation dans le son de l'interrupteur : il n'y a plus extinction et la lampe ne s'illumine pas.

Cette profonde différence entre la cathode et l'anode est toute contraire à la théorie de Simon. Du reste, d'après les nombres donnés par Richarz et Simon, il est aisé de se convaincre que la chaleur de Joule degagée sur la pointe est insuffisante pour produire la vaporisation de l'électrolyte.

La pointe n'a dans le phénomène d'interrup-

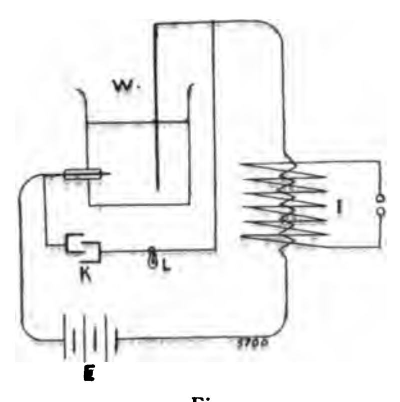


Fig. 1.

tion qu'un rôle tout à fait secondaite. On obtient à très peu près les mêmes résultats, en employant un fil de platine dont les deux extrémités sont scellées dans des tubes de verre. (fig. 2.)

Avec un interrupteur ainsi construit, on peut échauffer l'électrode au moyen d'un courant auxiliaire : cette élévation de température provoque une augmentation de la fréquence.

Ici encore le calcul montre que la chaleur de Joule est insuffisante pour produire l'ébullition du liquide.

M. Klupathy attribue le phénomène calorifique à l'effet Peltier, qui d'après les expériences de Bouty, de Jahn et de Gill, se produit à la surface de la séparation de l'électrolyte et du métal. En général, la cathode se refroidit et l'anode s'échauffe. Il est très probable que la grandeur de l'effet est, comme dans le cas de deux métaux, indépendant de la grandeur des surfaces en contact. Alors la variation de température peut être grande lorsque la surface est petite.

Les nombres relatifs au platine dans l'acide sulfurique et au cuivre dans le sulfate de cuivre n'ont pas été déterminés en valeur absolue ; mais on peut prendre comme limite inférieure, d'après les résultats connus, 150 pet. cal. par ampère-heure. Sur une petite électrode, cette quantité de chaleur est suffisante pour expliquer le fonctionnement de l'interrupteur de Wehnelt.

L'auteur a vérifié par des expériences directes que cet effet Peltier se produit bien dans l'interrupteur. La chaleur correspondante s'ajoute à la chaleur de Joule à l'anode, s'en retranche à

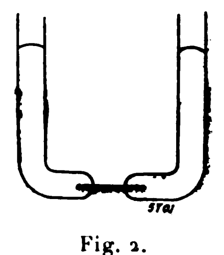


Fig. 2.

la cathode. La cathode brûle plus facilement parce qu'il se produit entre elle et le liquide un arc à travers l'hydrogène, mis en liberté par le courant.

Dans l'interrupteur à trou, la chaleur de Joule suffit cependant pour provoquer la vaporisation du liquide. Mais il est aisé de voir que, dans ce cas, la quantité de chaleur est indépendante de la longueur de la couche de liquide, mais inversement proportionnelle au carré de la section de l'ouverture. Et, en fait, la fréquence des interruptions est aussi inversement proportionnelle à ce carré.

M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 29 décembre (1).

Sur la vitesse avec laquelle les différentes variétés de rayons X se propagent dans l'air et dans différents milieux, par **R. Blondlot**. *Comptes Rendus*, t. CXXXV, p. 1293-1295.

Les rayons X sont, comme on le sait, plus ou moins pénétrants, selon qu'ils sont émis par des tubes où le vide est plus ou moins avancé. L'auteur s'est proposé de rechercher si ces différentes variétés de rayons X se propagent dans l'air avec la même vitesse.

Ayant pris d'abord un tube très mou, donnant sur l'écran une ombre de la main où l'on ne pouvait aucunement distinguer les os, il détermina par la méthode décrite précédemment (2) le rapport de la vitesse des rayons X émis par ce tube à celle des ondes électriques; l'allongement donné aux fils de transmission étant de 30 cm, ce rapport fut trouvé égal à $\frac{31,2}{30} = 1,04$. Antérieurement, avec un tube de dureté moyenne, dont les rayons, non seulement faisaient voir les os dans l'ombre de la main, mais même traversaient tant soit peu ces os, M. Blondlot avait, en donnant aux fils de transmission les mêmes longueurs, obtenu pour le rapport des vitesses le nombre $\frac{30,6}{30} = 1,02$.

On interposa ensuite sur le trajet des rayons X une plaque d'aluminium épaisse de 2 cm : à peine pouvait-on alors apercevoir sur l'écran une faible fluorescence, et, de cette façon, il ne passait que des rayons extrêmement pénétrants. L'action sur l'étincelle était très faible, mais encore visible, et on parvint à déterminer, sans beaucoup de précision toutefois, la position du tube correspondant au minimum d'étincelle pour une longueur des fils de transmission égale à 110 cm : la distance du tube à la coupure était alors *environ* 23,7 cm. Sans l'interposition de l'aluminium, elle était de 21,3 cm.

(1) Aucune communication n'a été présentée à la séance du 22 décembre, consacrée à la distribution des prix.

(2) *Écl. Élect.*, t. XXXIII, p. 245, 250 et 346, 15 novembre et 6 décembre 1902.

Avec le plus dur de tous les tubes pouvant fonctionner dans l'appareil de M. Blondlot sans donner d'étincelles latérales, tube dont les rayons traversaient manifestement les os de la main, on a obtenu la distance 22,3 cm.

Toutes ces observations montrent que, au degré d'approximation des mesures, les vitesses de propagation des rayons émis par tous les tubes sont les mêmes (1).

L'absence de réfraction des rayons X indique que leur vitesse est indépendante des milieux où ils se propagent. M. Blondlot a voulu s'en assurer directement. Pour cela, ayant donné aux fils de transmission une longueur arbitraire, mais constante, il a déterminé la position du tube correspondant au minimum d'étincelle; puis, après avoir interposé entre le tube et l'étincelle la substance dans laquelle il voulait étudier la propagation, il répétait la détermination. Toujours la position du tube s'est retrouvée la même, aux erreurs d'expérience près (2).

« La conclusion définitive des observations rapportées dans la présente Note est que, dans les limites des conditions et des erreurs des expériences décrites, la vitesse de propagation des différentes variétés de rayons X dans les différents milieux est égale à celle de la lumière dans l'air. »

(1) Déjà, d'après les expériences antérieures, on pouvait s'attendre à cette égalité de vitesse des différentes variétés de rayons X : dans ces expériences, en effet, on avait employé un tube de dureté moyenne, émettant par conséquent des rayons X de pénétrations diverses; or, il est clair que si ces rayons avaient des vitesses de propagation différentes, il n'y aurait pas eu de maximum de l'étincelle, puisque, chacune des radiations tendant à en faire naître un à une distance différente, la superposition n'eût donné qu'un résultat confus.

(2) Voici quelques valeurs de la distance du tube (de dureté moyenne), correspondant au maximum d'étincelle.

» Propagation à travers :

L'air.	21,8
Un bloc de hêtre de 6 cm	20
» paraffine de 5 cm.	21,3
Une colonne d'essence de térébenthine de 6,5 m .	22,4
» d'huile de vaseline de 6,5 cm	21,7

Avec le plus dur des tubes, la distance correspondant au minimum 22,3 cm resta exactement la même après l'interposition d'un bloc de paraffine épais de 9,5 cm.



Étude de la magnétofriction du faisceau anodique, par **H. Pellat**. *Comptes-rendus*, t. CXXXV, p. 1321-1324.

« Dans plusieurs notes antérieures [1], l'auteur signalait une série de phénomènes qui se produisent quand on fait agir un champ magnétique intense sur le flux cathodique ou sur le flux anodique des tubes à gaz raréfiés et qui sont inexplicables par les lois de l'électromagnétisme. Ils s'expliquent parfaitement par un frottement anisotrope que subiraient les particules en mouvement, très grand dans le sens perpendiculaire aux lignes de forces du champ magnétique et beaucoup plus faible ou nul dans le sens des lignes de forces. Pour rappeler cette propriété, M. Pellat propose de donner à ces phénomènes le nom général de *magnétofriction* du faisceau cathodique ou anodique.

La manière dont varie la magnétofriction d'un faisceau anodique suivant la pression et la nature du gaz, est l'objet de la note qui nous occupe [2].

D'une façon générale, voici quels sont les phénomènes que l'on observe quel que soit le gaz :

« Si l'on augmente progressivement l'intensité du champ magnétique à partir de zéro, le faisceau anodique se resserre de plus en plus le long de la paroi du verre conformément aux lois de l'électromagnétisme, et forme en avant ou en arrière, suivant le sens du champ ou de la décharge, un filet d'autant plus mince que le champ est plus intense. Mais à partir d'une certaine intensité du champ, que je désignerai par H, le faisceau anodique se diffuse autour du filet, d'abord sous forme d'un nuage qui ne s'écarte pas beaucoup du filet, puis la diffusion augmente de plus en plus jusqu'à envahir toute la section du tube, quand le champ augmente d'intensité. Enfin le filet lui-même disparaît dans les champs très intenses et l'effet des forces électromagnétiques ne se manifeste plus que par une intensité lumineuse un peu plus grande sur le bord où était le filet, quand on regarde le tube de côté. Cette différence d'intensité diminue, du reste, et tend à s'effacer lorsque le champ continue à croître. La partie diffusée ne présente jamais de stratifications ; le filet ne peut en présenter que lorsqu'il est très large, dans les champs très peu intenses, par conséquent.

» Mais il y a une très grande différence entre les valeurs du champ qui donnent un des aspects qui viennent d'être indiqués suivant la pression et la nature du gaz. On en jugera par le tableau suivant, qui indique pour l'hydrogène et pour l'oxygène les valeurs de H suivant la pression.

Valeur du champ à partir de laquelle la diffusion du faisceau due à la magnétofriction commence à apparaître.

Hydrogène.				Oxygène.	
Pression [1]. km	H.	Pression. mm	H.	Pression. mm	H.
20	1 740 C.G.S.	1,3	390 C.G.S.	1,5	supérieur à 7 000 C.G.S.
16	1 340 »	0,97	390 »	0,7	7 000 »
12	1 090 »	0,70	390 »	0,54	2 430 »
10	1 000 »	0,38	390 »	0,13	1 580 »
7	920 »	0,14	390 »	0,03	300 »
4,6	840 »	0,03	390 »	»	» »
3	570 »	0,0078	300 »	»	» »
2	390 »	»	» »	»	» »

» Ainsi, à mesure que la pression diminue, l'intensité H du champ à partir de laquelle la diffusion commence à apparaître diminue aussi.

(1) Pellat. Tubes de forces d'un champ magnétique rendus visibles par les rayons cathodiques (*Écl. Élect.*, t. XXX, p. 367, 8 mars 1902). — Des forces qui agissent sur le flux cathodique placé dans un champ magnétique (*Ibid.*, t. XXXI, p. 156, 26 avril 1902. — Action d'un champ magnétique intense sur le flux anodique (*Ibid.*, t. XXXI, p. 336, 31 mai 1902).

(2) Les gaz étaient étudiés dans un tube cylindrique ayant environ 1 m de long et 17 mm de diamètre dont le milieu était placé entre les pièces polaires planes d'un fort électro-aimant Weiss distantes de 0,02 m et donnant un champ à peu près uniforme sur une longueur de 0,07 m ; les trous pratiqués dans l'axe des pièces polaires permettaient d'examiner le tube de côté. De cette façon, le faisceau anodique coupait à angle droit les lignes de forces du champ magnétique. Les gaz étudiés ont été l'hydrogène, l'oxygène, un mélange d'oxygène et d'hydrogène et enfin l'air sec. L'oxygène et l'hydrogène étaient préparés par l'électrolyse d'une solution de potasse ; ils étaient desséchés par un séjour prolongé sur de la potasse en morceau, qui avait longtemps été maintenue à l'état de fusion.

(1) Les pressions inférieures à 2 mm de mercure étaient bien évaluées au moyen de la jauge Mac Leod ; mais les pressions égales ou supérieures à 2 mm n'étaient que grossièrement évaluées. Cela n'a aucun inconvénient, puisque le phénomène ne change que lentement avec la pression. D'autre part, le phénomène de l'apparition de la diffusion étant délicat à observer, les valeurs indiquées pour H ne sont déterminées qu'à plusieurs dizaines d'unités près.

Mais il y a une énorme différence entre les nombres correspondant à une même pression pour l'hydrogène et pour l'oxygène (si l'on excepte toutefois les pressions très faibles). J'ajouterai, pour mieux montrer la dissemblance des deux gaz, qu'avec une pression de 1,3 mm de mercure et un champ de 7 000 C. G. S., pour l'hydrogène la diffusion du faisceau anodique est complète, le filet n'étant plus visible, tandis que pour l'oxygène le faisceau est resserré en un mince filet très brillant sans diffusion appréciable. Pour qu'avec un champ de 7 000 C. G. S., l'oxygène donne une diffusion complète, comme celle qui vient d'être indiquée pour l'hydrogène, il faut, au lieu de 1,3 mm, descendre jusqu'à une pression de 0,13 mm.

» On voit par là que l'oxygène subit beaucoup plus difficilement les effets de la magnétofriction que l'hydrogène [1] ».

[1] « Il était intéressant de voir si, dans un mélange, les effets sur les deux gaz se manifesteraient séparément. L'expérience a été faite sur un mélange à volumes grossièrement égaux d'oxygène et d'hydrogène; elle a montré qu'au point de vue de la magnétofriction un mélange se comportait comme un gaz unique jouissant de propriétés intermédiaires entre celles des composants : le spectroscope décelait les raies brillantes de l'hydrogène et les raies ou bandes beaucoup plus pâles de l'oxygène, aussi bien dans le filet que dans la partie diffusée qui l'entourait; pour les pressions totales 0,94 mm et 0,46 mm, H fut trouvé respectivement égal à 3 000 et 1 1000 C. G. S. L'air s'est comporté d'une façon analogue ».

Sur la conductibilité de l'air produite par l'émanation du phosphore, par **Eugène Bloch.** *Comptes rendus*, t. CXXXV, p. 1324-1326.

On sait depuis longtemps que l'air placé au voisinage d'un bâton de phosphore devient conducteur de l'électricité. Mais ce phénomène n'a commencé à attirer l'attention des physiciens que dans ces dernières années, en même temps que les autres cas de conductibilité des gaz. Barus (*Phil. Mag.*, 1899-1902, *passim*) établit que l'*émanation* du phosphore est non seulement conductrice, mais possède la propriété de condenser la vapeur d'eau même non saturante; ses expériences sembleraient d'ailleurs prouver l'indépendance des deux phénomènes; de plus elles laissent sans réponse toutes les questions que l'on peut se poser sur la nature de la conductibilité. G. C. Schmidt (*Phys. Zeitschr.*, t. III, juillet 1902, p. 475) nie que l'on soit en présence d'une véritable *ionisation* et attribue la conductibilité à la convection de l'électricité par les produits d'oxydation du phosphore qui formeraient les nuages observés. Harms (*Phys. Zeitschr.*, t. IV, p. III, novembre 1902) combat cette opinion par quelques expériences presque purement qualitatives.

» En présence de ces contradictions sur les points les plus essentiels, M. Bloch a repris l'étude de ce sujet. Ses expériences, rapportées ci-dessous [1] l'ont conduit aux conclusions suivantes :

[1] « Je me suis efforcé d'abord, dit-il, d'obtenir des phénomènes réguliers et par suite de rendre les mesures possibles. J'y suis parvenu en faisant passer, avec une vitesse constante sur du phosphore desséché et maintenu à la température ordinaire, un courant d'air rigoureusement sec. Cet air devient conducteur sans qu'il soit possible d'apercevoir dans le gaz vivement éclairé aucune poussière ou fumée; une pareille fumée ne se produit qu'à la sortie de l'appareil, au moment où l'émanation arrive au contact de l'air extérieur; il se forme alors un nuage de vapeur d'eau.

» En ce qui concerne la conductibilité électrique, j'ai établi d'abord, en envoyant le courant gazeux dans le champ d'un simple condensateur cylindrique, et en utilisant, pour les mesures, un électromètre à quadrants sensible, que le courant que l'on peut faire passer dans le gaz n'est pas proportionnel à la force électromotrice, mais qu'il tend vers un maximum (courant de *saturation*) quand la force électromotrice est suffisamment élevée. D'autre part, si l'on envoie l'émanation dans un tube cylindrique chargé à un potentiel élevé, et suivant l'axe duquel sont placées deux électrodes isolées identiques, on constate que l'électromètre ne décèle plus aucun courant à la seconde électrode, quand la première est reliée au sol. L'ensemble de ces faits justifie l'hypothèse d'une *ionisation* du gaz.

» La conductibilité, supprimée dans la dernière expérience par l'établissement d'un champ sur la première électrode, est supprimée *définitivement*, c'est-à-dire qu'elle ne reparait pas plus loin dans le gaz par suite d'une prolongation possible de l'oxydation. Il est dès lors légitime d'appliquer au cas actuel une méthode telle que celle des courants gazeux (Zeleny) pour mesurer les *mobilités* des ions. Les mobilités obtenues, à peu près égales pour les deux espèces d'ions, sont extrêmement faibles, de l'ordre de $\frac{1}{300}$ de millimètre par seconde dans un champ de un volt par centimètre. Les ions actuels diffèrent donc beaucoup à cet égard des ions que l'on rencontre d'ordinaire dans les gaz; ils sont au contraire à rapprocher de ceux que Townsend a le premier signalés dans les gaz récemment préparés par voie électrolytique et qui possèdent justement des mobilités du même ordre que les précédentes (Townsend, *Phil. Mag.*, t. XLV, 1898, p. 125).

» Cette analogie est confirmée par l'étude des phéno-

La conductibilité de l'air sec qui a passé sur le phosphore est due à des ions de très faible mobilité qui servent de noyaux de condensation à la vapeur d'eau même non saturante. Il faut réserver pour l'instant la question de savoir par quel mécanisme chimique ces ions sont produits, et si leur formation est liée à celle d'un composé défini tel que l'ozone ou un oxyde du phosphore, ou bien s'il s'agit d'une simple modification de l'oxygène. Cette question est évidemment liée à l'étude chimique précise de l'oxydation du phosphore, sur laquelle nous n'avons actuellement que des données insuffisantes.

Sur l'effet Hall et les mobilités des ions d'une vapeur salée, par **Georges Moreau.** *Comptes rendus*, t. CXXXV, p. 1326-1328.

1. Mobilité des ions. — Dans une note récente [1], l'auteur indiquait le mécanisme de l'ionisation d'une flamme, chargée d'un sel alcalin par vaporisation d'une solution de concentration connue.

« On peut se proposer de déterminer les mobilités des ions produits. Une méthode indiquée précédemment [2] a fourni à M. Moreau, pour les ions négatifs, une mobilité diminuant quand la concentration croît et *uniquement fonction de la nature du métal*. Pour les sels de K et de Na, dont la concentration est comprise entre 1 mol et $\frac{1}{256}$ de molécule par litre de solution vaporisée, elle varie de 660 cm : sec à 1 320 cm : sec pour une chute de 1 volt par centimètre. La limite 1 350 cm : sec est la mobilité des ions négatifs de la flamme pure et chaude d'un bec Bunsen.

La même méthode, appliquée aux ions positifs, donne 80 cm : sec, quelle que soit la nature du sel ou la concentration. Pour la flamme pure, ce sera donc aussi 80 cm : sec. Les ions négatifs sont notablement plus rapides que les ions positifs; ils ont donc une masse plus faible qui s'accroît avec la concentration. L'inégalité des mobilités est un fait général déjà observé chez les gaz ionisés par d'autres procédés; elle est seulement plus accentuée pour les vapeurs salines où les mobilités sont aussi plus considérables à cause de la haute température du milieu.

3. Effet Hall. — Soit, dans une flamme, un champ électrique X parallèle à Ox et, suivant Oy, un champ magnétique H. Parallèlement à Oz se produit, sous l'action de H, un champ électrique Z qui définit l'effet Hall. Le coefficient de rotation $R = \frac{Z}{HX}$ a été mesuré par Marx [1] pour les flammes chargées de KCl à différentes concentrations et pour NaCl.

Avec la notion des ions, l'interprétation de R est simple. En admettant que le champ H exerce sur chaque ion chargé qui se déplace suivant Ox une action pondéromotrice électromagnétique, on établit [2] la formule, K_2 et K_1 étant les mobilités des ions positifs et négatifs,

$$R = K_2 - K_1. \qquad (1)$$

Cette formule n'est cependant qu'approximative, car on néglige les chutes de pression des ions qui s'établissent suivant Oz et qui diminuent légèrement R.

Avec les valeurs qu'a mesurées M. Moreau pour K_2 et K_1, on peut calculer R d'après (1) et le comparer aux nombres de Marx. Dans le

mènes de condensation. Comme ceux des gaz électrolytiques, les ions du phosphore condensent la vapeur d'eau même non saturante (contrairement aux ions ordinaires). Le nuage produit disparaît presque complètement si l'émanation a passé au préalable dans un long condensateur cylindrique à l'intérieur duquel on a créé un champ intense. Il est donc extrêmement vraisemblable que la vapeur d'eau se condense, au moins en grande partie, sur les ions. La même expérience réussit tout aussi bien avec l'hydrogène électrolytique, et ce fait confirme les idées de Townsend sur le rôle joué dans la condensation par les ions contenus dans les gaz, rôle qu'il n'avait mis en évidence que d'une manière assez indirecte, et qui avait été contestée par H.-A. Wilson (*Phil. Mag.*, t. XLV, 1898, p. 454). J'ai pu, dans le cas du phosphore, démontrer rigoureusement qu'une bonne partie du nuage se condense sur les ions, en plaçant, à l'exemple de C.-T.-R. Wilson, trois plateaux parallèles identiques au sein de l'émanation et en créant un champ intense et *uniforme* entre le plateau central et un latéral : le nuage disparait seulement du côté où existe le champ.

» Signalons encore que les phénomènes de conductibilité électrique sont simplement *affaiblis* sans perdre aucun de leurs caractères par le passage de l'émanation au travers d'un tampon de coton de verre, d'une éprouvette à potasse solide, d'une solution de potasse, d'un barboteur à acide sulfurique pur, d'une solution concentrée d'iodure de potassium ».

[1] *Écl. Élect.* t. XXXIII, p. 352, 6 décembre 1902.

[2] *Ibid.*, t. XXII, p. 109, 19 juillet 1902.

[1] Marx, *Wied. Ann.*, 1900.

[2] Donnan, *Phil. Mag.*, 1898.



tableau suivant, R est évalué en C. G. S. :

		K Cl.					Na Cl.
Concentr.	Fl. pure.	$\frac{M}{64}$.	$\frac{M}{8}$.	$\frac{M}{4}$.	$\frac{M}{2}$.	2M.	2M.
-10^6 R calc.	12,7	11	8,2	7	6,2	5,2	6,4
-10^6 R obs.	10,2	non obs.	8,3	5,4	4,3	3,8	5,1

Les valeurs calculées sont plus élevées que les valeurs observées, ce qu'on pouvait prévoir. Telle quelle, la formule (1) représente suffisamment bien l'allure du phénomène, si l'on tient compte des différences de température dans lesquelles les observations des mobilités et de R ont été faites, puisqu'on expérimente sur des flammes, c'est-à-dire sur des milieux facilement modifiables.

Marx a étudié différents sels alcalins et a trouvé qu'à concentration égale le coefficient R dépend uniquement du métal, d'après la formule

$$R\sqrt{M} = \text{const.}, \qquad (2)$$

où M est le poids moléculaire du métal. Puisque K_2 est notablement plus petit que K_1, on peut écrire

$$K_1\sqrt{M} = \text{const.} \qquad (3)$$

Cette formule 3 est bien vérifiée par les observations de M. Moreau sur les mobilités du K et du Na. Elle est d'ailleurs une conséquence de la théorie de la diffusion des gaz, si la masse de l'ion négatif est égale ou supérieure à celle des molécules du milieu enflammé.

3. Conclusion. — « La formule (1) fournit une interprétation cinématique de l'effet Hall que l'expérience vérifie : c'est la première fois qu'à ma connaissance cette preuve directe a été faite. La formule (2) ne fait que confirmer ce que mes propres observations ont établi, à savoir que l'ion négatif ne dépend que du métal de la vapeur. Il me paraît constitué d'un noyau provenant de la dislocation de l'atome métallique, qui groupe autour de lui d'autres atomes non ionisés, en nombre croissant avec la concentration. L'ion positif sera le reste de l'atome avec des molécules du milieu enflammé.

Ainsi s'explique l'influence prépondérante du métal qu'Arrhénius a observée dans la conductibilité des vapeurs salines. »

Séance du 5 janvier 1903.

Nouvelle méthode d'essai des rails, par **Ch. Frémont**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 35-37.

Les cahiers des charges actuels imposent trois sortes d'épreuves pour la recette des rails : un essai de traction pour mesurer la résistance et ductilité de l'acier; un essai de flexion sous charge statique pour constater si la limite élastique est assez élevée; enfin, un essai de flexion par choc pour vérifier si la résistance vive du métal est suffisante.

Ce troisième essai est, en théorie, d'importance capitale, car, si le métal est drop doux, le rail se déformera plus ou moins rapidement; mais, si la résistance vive du métal est insuffisante, il pourra y avoir des ruptures brusques en service. Et l'on constate de ces ruptures non seulement en service, mais même dans le transport des rails à pied d'œuvre, ce qui prouve que les rails réceptionnés en usine sont parfois fragiles.

Mais, entre les résultats du procédé actuellement appliqué et ceux de l'expérience en service, il y a souvent divergence; c'est que, dans l'essai de flexion au choc, *on suppose les rails homogènes* et on leur demande de se déformer très légèrement, une flèche maximum étant imposée et les quantités fixées comme poids du marteau et hauteur de chute étant calculées telles que le choc ne rompe pas le rail essayé.

Or les rails sont souvent peu homogènes, et c'est ce manque d'homogénéité qui est la raison des discordances entre les résultats de l'essai et ceux de la pratique.

L'hétérogénéité des rails tient à deux causes différentes qui peuvent coexister :

1° Le lingot d'acier contient une poche de retassement quelquefois sur une très grande longueur et celle-ci n'est pas toujours complètement éliminée, il se trouve alors dans le rail une partie centrale malsaine, contaminée par ségrégation.

Or un rail dans ces conditions peut résister à l'essai au choc imposé, parce que sa périphérie étant de bonne qualité reçoit seule l'effort brusque de traction, mais en service sous l'effet des trépidations, des vibrations, la partie malsaine se désagrège, se fissure et les fissures se propagent dans la partie saine jusqu'à rupture.

2° La seconde cause d'hétérogénéité provient

des traitements mécanique et thermique du rail pendant son laminage et son refroidissement, la partie centrale du rail peut être fragile quand la périphérie peut ne pas l'être.

Or il est à remarquer que, dans ces deux cas d'hétérogénéité, c'est toujours le centre du rail qui risque d'être défectueux, et que l'essai au choc actuellement imposé n'a que peu de chance de déceler cette défectuosité, puisque la partie du métal en prise dans l'essai de flexion est la partie extérieure du rail, partie généralement de bonne qualité.

Il est donc rationnel de faire porter l'essai au choc plus spécialement sur la partie centrale du bourrelet du rail. C'est ce que M. Frémont a fait dans une série d'essais qui lui ont permis de constater l'exactitude de ce principe [1].

Sur la cohésion diélectrique des gaz [2], par **E. Bouty**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 40-41.

« J'ai montré que le champ critique nécessaire pour vaincre la cohésion diélectrique d'un gaz est la somme de deux termes dont l'un, prépondérant aux pressions de quelques centimètres de mercure, tend, à mesure que la pression croît, vers une fonction linéaire de la pression, tandis que l'autre, prépondérant aux pressions très basses, croît très rapidement quand la pression diminue, en raison inverse de la pression ou même, dans un certain intervalle, en raison inverse du carré de la pression.

» Je dispose actuellement d'une batterie de petits accumulateurs dépassant 16 000 volts. Il m'a donc été possible d'écarter les plateaux de mon condensateur jusqu'à 6,5 cm de distance, et d'augmenter l'épaisseur de mes ballons plats jusqu'à 5 ou 6 cm, sans que l'intensité maximum du champ produit descendît au-dessous de 2 500 volts par centimètre.

» Quand on fait ainsi usage de disques gazeux assez épais, l'observation de la lueur de charge devient un indice du passage de l'électricité à travers le gaz au moins aussi sensible que la mesure des capacités, précédemment employée.

» Aussi bien par les mesures électriques que par l'observation des lueurs, j'ai pu m'assurer qu'aux pressions élevées la valeur du champ critique est bien indépendante de l'épaisseur du disque gazeux, comme je l'avais admis *a priori*. Ainsi, pour l'air, le coefficient a du terme ap proportionnel à la pression a été trouvé compris entre 425 et 430 pour un ballon de 4,7 cm d'épaisseur, et égal à 425 pour un ballon de 5,6 cm.

» Il n'en est plus de même pour le terme prépondérant aux très basses pressions. *C'est alors, non le champ, mais la différence de potentiel totale correspondant à l'épaisseur de la colonne gazeuse qui est constante ;* le champ varie en raison inverse de cette épaisseur. Je citerai à cet égard trois séries d'expériences réalisées avec l'hydrogène. Pour ce gaz, le terme prépondérant aux basses pressions est, dans les limites auxquelles se rapportent les mesures, en raison inverse du carré de la pression. Avec trois ballons d'épaisseurs différentes, j'ai trouvé les valeurs suivantes du coefficient b du terme $\frac{b}{p^2}$:

---

[1] On opère sur des morceaux de rails d'une longueur de 0,50 m. dont le bourrelet est entamé, dans le milieu de la longueur, d'une échancrure de 60 mm de long, terminée par deux congés de 15 mm de rayon et pénétrant jusqu'au milieu du bourrelet qui subira l'extension dans le choc. Chaque morceau ainsi préparé est posé sur deux points d'appui espacés de 0,40 m et constitués par deux coussinets en acier trempé de forme demi-cylindrique et de 14 mm de diamètre. La face échancrée étant tournée en dessous, le rail reçoit le choc d'un marteau tombant d'une hauteur de 5 m et d'un poids suffisant pour opérer la rupture même d'un métal de très bonne qualité.

Après rupture, les deux fragments du rail essayé sont rapprochés et la valeur du métal est donnée soit par l'allongement constaté dans la partie échancrée, soit par l'angle ou la flèche de flexion. Avec des rails de qualité suffisante j'ai obtenu, sur la longueur de 0,50 m, des flèches de 6 mm à 20 mm, quand beaucoup d'autres rails n'ont donné que des flèches nulles.

La mesure de l'empreinte laissée par la pression sur les points d'appui permet de déterminer, par comparaison avec un essai statique préalable, quel a été l'effort maximum pendant le choc.

On a ainsi, dans cet essai, la mesure de l'effort et de l'espace parcouru pendant la flexion : on en peut déduire la mesure du travail dépensé pour obtenir la rupture.

Dans la pratique, pour la recette, il suffit d'imposer une flèche minimum.

En opérant sur des coupons de 0,50 m de long détachés sur les chutes lors de la fabrication du rail, on fait l'essai à 0,25 m du bout du rail utilisé.

La faible longueur du morceau essayé, pris dans une partie de rebut, permet de faire économiquement les essais et de les répéter économiquemnnt bien plus souvent qu'on ne le fait par la méthode actuelle.

[2] Voir L'*Éclairage Électrique*, t. XX, p. 198 et 200, 5 avril 1899 ; t. XXIV, p. 398 et 399, 8 septembre 1900 ; t. XXV, p. 93, 13 octobre 1900 ; t. XXVIII, p. 223, 10 août 1901.



Epaisseur e du ballon C cm	coefficient b	Produit eb
2,4	0,08	0,192
3,8	0,054	0,205
5,6	0,034	0,190

» Ainsi, des deux termes dont la somme donne, à une pression quelconque, le champ critique total, le premier est bien une constante caractéristique du gaz, dont il mesure proprement la cohésion. Le second terme, correspondant à une différence de potentiel indépendante de l'épaisseur du gaz traversé, ne peut se rapporter qu'à une action localisée à la paroi. Il mesure une résistance à la rupture de l'équilibre diélectrique entre la paroi et le gaz, ou, si l'on préfère, entre le gaz libre de l'intérieur du ballon et la couche de gaz condensée par la paroi.

» Remarquons qu'il doit y avoir identité entre la différence de potentiel minimum nécessaire pour produire une décharge à travers une masse de gaz, et la différence de potentiel initiale correspondant au passage d'un courant continu à travers ce gaz. Par analogie avec ce qui se passe dans le cas d'électrodes métalliques, cette dernière différence de potentiel peut être la somme d'une chute de potentiel cathodique ou anodique, indépendante de l'épaisseur de gaz traversée et d'une chute de potentiel proportionnelle à l'épaisseur. Il n'est donc pas surprenant que ces deux éléments concourent à produire la différence de potentiel critique que nous mesurons dans nos expériences. »

BRITISH ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE

CONGRÈS DE BELFAST [1]

Nouveautés dans les appareils de mesure et les indicateurs, par **M.-B. Field**. *Electrical Review* (Londres), t. LI, p. 600-601, 3 octobre 1902.

Les appareils électriques que présente l'auteur offrent quelques caractères nouveaux. Il se borne à indiquer pour chacun d'eux le but auquel il est destiné.

Voltmètre à compensation. — Cet appareil est établi pour indiquer le voltage, au point de distribution d'une transmission à trois fils, entre le conducteur neutre et l'un ou l'autre des deux conducteurs extrêmes ; c'est-à-dire que le voltmètre, quoique relié aux feeders à leur point de départ, indique la tension à l'extrémité aboutissant au réseau, étant compensé pour la chute de tension dans les feeders, quel que soit le défaut d'équilibrage du réseau. L'instrument est compensé pour la chute de tension dans un câble concentrique à âme triple de 1 600 m de long, les conducteurs extrêmes ayant une section de 3,1 cm² et le conducteur neutre une section de 1,55 cm². Il n'y a pas de fils pilotes. L'instrument de mesure est un millivoltmètre très sensible ; les connexions sont faites sur le modèle d'un pont de Wheatstone non équilibré, dans deux des bras duquel on introduit des différences de potentiel respectivement proportionnelles aux baisses de voltage dans un des conducteurs extérieurs et dans le conducteur neutre. Par un ajustage convenable des résistances du pont, on réalise la compensation exacte de ces baisses de voltage.

Wattmètre à fil chaud. — Cet instrument est destiné aux travaux d'atelier et de laboratoire, non aux tableaux de distribution. Relié à un circuit électrique, il indique les ampères, les volts, les watts réels et par suite le facteur de puissance. Ses indications sont *concordantes* entre elles. La chute de voltage dans l'appareil ne dépasse pas 0,5 volt, de sorte que, pour les essais de moteurs, on peut le relier au circuit normal (c'est-à-dire qu'il n'est pas besoin de surélever le voltage dans ces essais). En plaçant des chevilles dans des trous disposés à cet effet, on peut faire fonctionner l'instrument en voltmètre, en ampèremètre ou en wattmètre.

Indicateur de défauts. — Cet instrument est spécialement destiné aux réseaux de traction. En règle générale, les feeders de ces réseaux sont protégés par des coupe-circuit automatiques. Ces appareils fonctionnent souvent pour des causes inconnues ; la pratique usuelle en ce cas est de les refermer sans prendre de précautions spéciales. Si un coupe-circuit s'ouvre trois fois de suite, la ligne est considérée comme mise en court-circuit et il faut rechercher le défaut. Cette méthode trop rudimentaire amène souvent de considérables dommages. Cependant la mesure de la résistance entre le feeder et la terre pourrait indiquer si le feeder est en court-circuit ou non. S'il l'est, cette résistance sera certainement inférieure à 1 ohm ; si, d'autre part, le court-circuit ou la surcharge disparaissent, la

[1] Voir *Écl. Élect.*, t. XXXIII, p. 276, 26 novembre 1902, et t. XXXIV, p. 69, 19 janvier 1902.

résistance sera assez élevée. Quand le courant est interrompu sur une section quelconque de la ligne, les wattmen doivent aussitôt ouvrir le circuit des moteurs, fermer celui des lampes et attendre que celles-ci s'allument : la résistance entre le feeder et la terre sera donc simplement la résistance des circuits de lampes. Ceci étant rappelé, l'appareil indicateur de défauts est un pont de Wheastone où le circuit du feeder forme la résistance inconnue, le voltmètre ou galvanomètre et les bras de proportion étant réglés de telle sorte que si la résistance inconnue est inférieure à 1 ohm, l'aiguille est poussée à

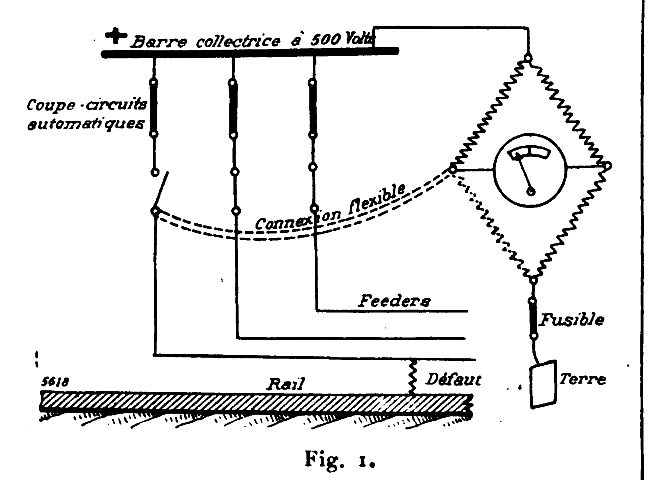


Fig. 1.

l'extrémité gauche du cadran, indiquant « ligne bloquée » et si cette résistance est supérieure à 20 ohms, l'aiguille, se portant à l'extrémité droite, indique « ligne libre ». La figure 1 indique les connexions. L'instrument peut être mis en connexion permanente avec la barre collectrice positive, et relié, au moment voulu, au feeder dont l'interrupteur s'est ouvert. Les interruption de courant étant très préjudiciables aux grands réseaux de tramways, tout appareil qui tend à en réduire la durée mérite l'attention des ingénieurs.

Appareil de synchronisation. — Pour la synchronisation, l'auteur préconise l'installation de lampes pilotes près de la valve d'admission de chaque machine, de façon que le mécanicien puisse suivre la marche de l'opération et ouvrir ou fermer la valve jusqu'à ce que les alternateurs soient en concordance de phase. De plus, il faut naturellement régler le voltage de la machine à coupler jusqu'à ce qu'il soit égal à celui des barres collectrices. L'objet de l'appareil de synchronisation que présente l'auteur est d'établir par une *seule* manœuvre toutes les connexions nécessaires pour ces indications. En effet, il met en circuit : 1° les lampes pilotes de la machine motrice ; 2° les lampes de synchronisation placées sur le panneau de l'alternateur à coupler ; 3° le voltmètre de synchronisation ; 4° un voltmètre spécial qui montre d'un seul coup d'œil si le voltage de l'alternateur à coupler est égal, supérieur ou inférieur à celui des barres collectrices. On peut naturellement se dispenser de l'opération n° 2, car les lampes de synchronisation ne sont pas nécessaires quand on emploie un voltmètre pour le même objet ; elles sont cependant utiles comme ressource supplémentaire. Le voltmètre spécial ci-dessus mentionné se compose en réalité de deux voltmètres, dont l'un est relié aux barres collectrices et l'autre à la machine à coupler ; les deux aiguilles se meuvent sur le même cadran. Cet appareil simplifie notablement les panneaux des alternateurs.

Récepteur pour oscillations électriques,

par le Pr **Minchin**. *Electrical Review* (Londres), t. LI, p. 770, 7 novembre 1902.

Ce récepteur se compose d'un petit cylindre de charbon dont les extrémités sont supportées par deux boucles en fil d'aluminium.

Un fil d'aluminium mABn (fig. 1), de 1,5 mm de diamètre environ, est recourbé de la façon qu'indique la figure ; il présente en m et en n deux boucles dans lesquelles s'adaptent horizontalement les extrémités d'une baguette de charbon ; la longueur de la partie AB est d'environ 1 cm, mais peut être plus petite si l'on veut, et cette longueur indique les dimensions du reste. Au cylindre de charbon C, d'une part, et au fil d'aluminium AB, de l'autre, sont attachés des fils de platine fins q et p. L'ensemble est placé à l'intérieur d'un petit tube de verre G, dont la partie inférieure contient un peu de mercure, dans lequel plonge le fil q. Ce mercure est aussi en contact avec un fil de platine Q, scellé dans l'extrémité du tube. Le fil p, scellé à la partie supérieure, se prolonge hors du tube par un fil P qui sert de connexion au fil d'aluminium AB. Avant de sceller le tube, on l'a rempli de vapeur de mercure en portant le mercure à l'ébullition.

Les contacts du cylindre de charbon avec les boucles du fil d'aluminium en m et n sont les



points où la résistance du circuit PpCqQ est affectée par les oscillations électriques. L'appareil destiné à recevoir les ondes transmises par un oscillateur éloigné se composait d'une grande plaque métallique P placée en haut d'un poteau (fig. 2), reliée à la terre en E par l'intermédiaire d'une bobine L de grande inductance, mais de résistance faible. Une pile sèche d'un seul élément, C, le cohéreur qu'on vient de décrire, G,

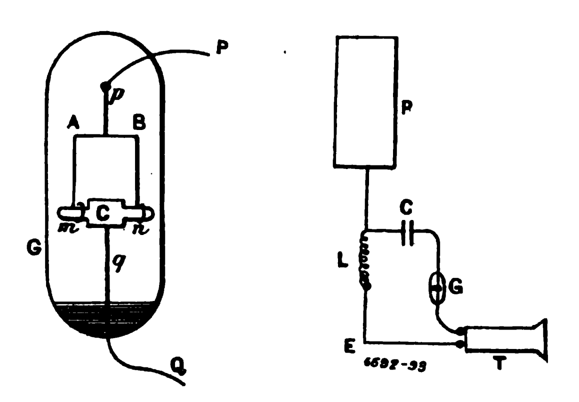


Fig. 1 et 2.

et un téléphone T étaient disposés dans un circuit dérivé, comme l'indique la figure. L'auteur déclare que cet appareil est plus sensible qu'aucun autre qu'il ait essayé ; le téléphone indique chaque point et chaque trait transmis par l'oscillateur. Quand on remplaça le téléphone par un relais pour enregistrer un message, on observa que le cohéreur G, sans tapeur, ne décohérait pas assez pour actionner le relais. Cependant, même sans tapeur, il décohérait assez pour affecter le téléphone.

Quelques modifications de l'appareil représenté par la figure 1 sont en cours d'exécution. L'une d'elles consiste à supprimer la partie AB du fil d'aluminium et à relier chacune des parties *m*A et *n*B à un fil de platine qui traverse le tube de verre. On supprime ainsi le mercure et la connexion Q et l'on a deux contacts sensibles *m* et *n* entre le charbon et l'aluminium, dont l'un ou l'autre agiront sur le relais. On fera connaître, après essai, d'autres modifications.

P. L.

Relation entre le potentiel voltaïque et la température, par le **Dr J. Larmor**.

La question que se pose l'auteur est celle-ci : le potentiel voltaïque est-il proportionnel à la température absolue ? Il la discute en se guidant d'après le principe de Carnot. Quand on charge un condensateur dans l'air, il prend un certain potentiel électrique et un double feuillet d'Helmholtz se forme sur chaque face intérieure ; c'est-à-dire que, le cuivre prenant une charge négative, en raison de l'affinité chimique peut-être, la couche d'air immédiatement au-dessus sera soumise à une tension électrique et il s'y produira une séparation des charges positive et négative, la charge positive étant attirée par la charge négative du cuivre. Si le potentiel résultant est simplement une fonction de la température et s'il n'y a pas affinité de la matière pour les charges électriques, on doit pouvoir recueillir du travail en séparant les armatures, chargées à une température donnée, et en les rapprochant de nouveau à une autre température. Les expériences de Majorana, récemment continuées par M. John Brown, parurent d'abord confirmer l'idée de la proportionnalité du potentiel voltaïque à la température absolue. Mais ce n'est là qu'une apparence. Majorana constata que le potentiel de son condensateur était plus bas dans l'air liquide, à 80 ou 90° absolus, que dans l'air à la température ordinaire. Le potentiel aurait dû baisser au tiers dans ce cas et se réduire presque à zéro dans l'hydrogène liquide. Majorana observa cependant que le potentiel baissait au quinzième dans le premier cas déjà. Il semblerait donc qu'on refroidit un corps en le chargeant électriquement, ou, en d'autres termes, qu'il faut dépenser une certaine énergie pour fixer une charge électrique sur un métal. On se rappelle que les expériences de Majorana furent commencées il y a quelques années dans le but de déterminer la nature de l'effet de contact Volta, et, en premier lieu, si la différence de potentiel due à cet effet pouvait s'établir dans le vide ou dans une atmosphère sans oxygène. La question a été soulevée de nouveau par le Professeur Oliver Lodge dans son adresse inaugurale à la « Physical Society », mais sans résultats notables. L'ancienne question de la lame de gaz, apparemment presque impossible à enlever, appliquée contre la surface métallique, intervient de nouveau dans ces recherches, mais M. John Brown, secrétaire de la réunion de Belfast, n'y a fait qu'une simple allusion et a préféré ne pas rendre compte encore de la suite qu'il donne aux expériences de Majorana. M. Brown

exprime ainsi l'idée qu'il se fait d'un condensateur : Partout où un circuit électrique est interrompu, il existe deux pôles; dans un élément électrolytique, les doubles feuillets d'Helmholz se trouvent dans les lames gazeuses ou liquides qui recouvrent les plaques ; retirez l'électrolyte, il reste un condensateur voltaïque.

P. L.

***La construction d'une dynamo*, par Henry-A. Mavor.** *Electrician*, t. L, p. 146, 14 novembre 1902.

Cette communication s'adresse aux personnes non familiarisées avec la construction des machines électriques. Les diverses phases de ce travail pour une dynamo à courant continu sont représentées par une série de photographies, dont chacune est expliquée dans le texte. La plupart de ces photographies ont été prises dans les ateliers de MM. Mavor et Coulson, à Glasgow.

P. L.

INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS

Section de Dublin

Séance du 21 novembre 1902.

***Sur la distribution et la génération de l'énergie électrique*.** Discours d'inauguration de **A.-E. Porte**, président.

A propos de la station centrale d'éclairage et de force de Dublin, l'auteur déclare que c'est la distribution triphasée qui fait aujourd'hui la concurrence la plus active à la distribution par courant continu. L'emploi d'un quatrième fil lui donne un avantage tout à fait analogue à celui des réseaux à trois fils pour courant continu. On observe cependant que les moteurs asynchrones monophasés font de grands progrès. Si l'on peut remédier à leurs inconvénients (faible couple de démarrage et courant de magnétisation intense), la simplicité de ce système de distribution le fera apprécier.

Un avantage caractérisé du triphasé est la facilité d'emploi des commutatrices pour la production du courant continu devant servir à l'électrochimie, à l'éclairage par arcs, au chargement des accumulateurs, etc. Alimentées par courants triphasés, les commutatrices donnent une puissance bien plus grande qu'avec le système monophasé. Prenant pour unité la perte d'énergie dans l'induit de la machine (et par suite la limite de puissance fixée par l'échauffement quand elle fonctionne comme moteur à courant continu, cette perte est 1,37 pour la commutatrice monophasée et 0,55 pour la commutatrice triphasée, le facteur de puissance étant l'unité. La perte est moindre encore pour un plus grand nombre de phases (0,37 pour 4 phases et 0,267 pour 6 phases). C'est pourquoi, à la nouvelle usine Edison de Waterside, on alimente les commutatrices avec des courants à 6 phases qu'on obtient en munissant les transformateurs triphasés de deux enroulements secondaires convenablement reliés.

L'économie de combustible, la régularité de mouvement et la sécurité de fonctionnement des machines motrices destinées à la commande des dynamos continuent à fixer l'attention des électriciens. La vapeur tient encore le premier rang, mais elle est bien près de la limite de perfectionnement possible et, pour réaliser une plus grande économie de combustible, l'ingénieur doit se retourner vers les machines à combustion interne. Les turbines à vapeur des types Parsons et Laval ont donné d'excellents résultats ; l'importance, pour ces machines, d'un haut degré de vide est un de leurs traits remarquables. Dans les usines où les machines fonctionnent à échappement libre, on peut en faisant passer la vapeur évacuée dans une turbine et de là dans un condenseur, obtenir un supplément de puissance pour l'éclairage ou toute autre application. Les dimensions toujours croissantes des turbines témoignent de la faveur dont elles commencent à jouir. On construit en ce moment aux Etats-Unis une usine où 100 000 chevaux seront fournis par des turbines de 6 000 kilowatts.

Une des plus remarquables propriétés du moteur à gaz est son indifférence à la qualité du gaz qui l'alimente. Qu'il reçoive du gaz de houille (4 900 à 5 600 calories par mètre cube), du gaz de pétrole (1 200 calories par mètre cube), du gaz de tourbe (1 350 calories par mètre cube), du gaz de gazogène (environ 1 200 calories par mètre cube) ou du gaz des hauts fourneaux (800 calories par mètre cube), il fournira toujours un cheval-heure effectif pour 2 250 calories absorbées et la puissance utile d'une machine de dimensions données n'est pas sérieusement réduite par la diminution de la valeur thermique du combustible qu'elle emploie. Les excellents rendements qu'on obtient avec des gaz relative-



ment peu riches en hydrogène et en carbures sont dus sans doute à la compression plus forte que ces gaz permettent d'employer. Cette propriété de pouvoir utiliser les gaz pauvres rend le moteur à gaz parfaitement apte à transformer en puissance le gaz produit par la distillation de la tourbe. A l'usine d'Inchicore, on a pendant quelque temps utilisé avec succès le gaz de tourbe pour le chauffage d'un four régénérateur Siemens, à une époque où le prix du charbon était excessif. La tourbe employée contenait 38 à 40 p. 100 d'humidité ; on put cependant maintenir sans difficulté la température du four. La consommation moyenne fut de 5,09 tonnes de tourbe par tonne de fer forgé ; dans les mêmes conditions, il aurait fallu 3 tonnes de charbon.

L'humidité que contient la tourbe, dans la proportion de 15 à 20 p. 100 quand elle a été séchée à l'air, est un grand inconvénient à son emploi comme combustible ordinaire ; mais, dans un gazogène, cette humidité est vaporisée par la chaleur des gaz distillés.

Le procédé Jebsen, qui consiste à traiter la tourbe dans des cornues chauffées électriquement, est intéressant pour les pays à tourbières. Il donne, selon Jebsen, un rendement élevé ; les produits obtenus sont : charbon de tourbe 33 p. 100, goudron 4 p. 100, eau de goudron 40 p. 100, gaz 23 p. 100.

L'auteur ajoute quelques mots sur les transmissions d'énergie à longue distance. Il en existe en Amérique qui atteignent jusqu'à 320 km ; des puissances de plusieurs milliers de chevaux sont ainsi transmises à des tensions qui vont jusqu'à 50 000 volts. (Transmission de Bay Counties en Californie). Il n'y a pas d'autre limite à la tension que celle qu'imposent les difficultés d'isolement et ce qu'on peut appeler le « rayonnement électrique ». Si l'on veut utiliser les chutes d'eau et les tourbières du Royaume-Uni, il faudra aussi employer des tensions aujourd'hui interdites par le Board of Trade pour les lignes aériennes. Il y a en ce moment 14 projets de distribution d'énergie proposés pour l'Angleterre et l'Écosse ; les uns ont déjà reçu, les autres attendent encore la sanction du Parlement. Pour l'Irlande, il n'y en a qu'un, celui de Shannon. On croit que les grandes usines génératrices produiront l'énergie à moins de 0,05 fr l'unité et la vendront un peu au-dessus de 0,10 fr. L'auteur espère que pour favoriser ces développements, le Board of Trade lèvera l'interdiction d'exploiter les lignes aériennes aux tensions supérieures à 650 volts.

P. L.

SECTION DE NEWCASTLE

Séance du 1er décembre 1902.

Expériences sur les commutatrices, par **W.-M. Thornton.**

L'auteur, au College of Science de Durham, a effectué une série d'essais sur deux dynamos munies de bagues collectrices de façon à pouvoir fonctionner en commutatrices. L'une de ces machines, d'une puissance de 9 kilowatts, a été construite par MM. Scott et Mountain, l'autre, de 5 kilowatts, par MM. J.-H. Holmes et Cie ; toutes deux sont bipolaires, avec induit en anneau. Le but des expériences était de déterminer les variations du rendement avec la charge dans toutes les conditions d'excitation, de comparer les pertes théoriques avec les pertes observées et de chercher les causes de celles-ci. La plus grande machine recevait du courant continu d'une batterie d'accumulateurs et fournissait du courant monophasé, di ou triphasé à la plus petite ; le courant continu produit par celle-ci était absorbé par une résistance liquide réglable. On employait un oscillographe double pour enregistrer les ondes du courant et de la différence de potentiel dans la ligne qui reliait les deux machines et dont la résistance et la capacité étaient négligeables. La plus haute fréquence qu'on put réaliser fut de 23 périodes par seconde.

Dans la première série d'expériences, on rechercha la relation entre le rendement de l'ensemble et le facteur de puissance. Il fut constaté que le rendement était maximum quand le facteur de puissance était l'unité, quelle que fût la commutatrice dont on modifiait le champ. Aux excitations faibles, les pertes dues à la forte composante déwattée du courant sont très prononcées, particulièrement dans la marche à courant triphasé.

Dans l'expérience suivante, on enregistra les formes d'onde du courant et de la tension. Avec la transmission monophasée, on constata que la courbe du rendement en fonction du débit s'abaissait rapidement à des charges bien inférieures

au débit normal de courant continu et qu'il était difficile d'atteindre de fortes charges sans faire tomber hors de phase la seconde commutatrice. Les différences entre les pertes observées et les pertes déterminées par le calcul furent relevées et parurent conduire à la conclusion que l'harmonique due à la réaction d'induit était de puissance suffisante pour troubler tout le circuit : les variations de flux qu'elle produisait dans la carcasse de fer plein amenaient une grande perte d'énergie. Si l'on n'a pas soin de réduire ces fluctuations au minimum par une construction appropriée, un changement d'excitation dans une des machines peut causer une variation disproportionnée des pertes de l'autre.

Quand la seconde commutatrice est sous-excitée, le rendement de la première décroît quand la charge augmente, quoique son excitation à elle soit maintenue constante; c'est encore là une indication de pertes anormales dues aux courants de Foucault. Les variations du flux magnétique dans la carcasse inductrice, causées par les harmoniques dues à la réaction d'induit, ont été relevées; dans ce but, l'oscillographe fut relié à l'enroulement en série de la machine Holmes; cet enroulement, inutilisé d'autre part, sert ainsi de bobine d'épreuve. On a tracé des courbes semblables pour des moteurs à courant continu alimentés par des batteries d'accumulateurs et dans chaque cas la forme de la courbe est parfaitement constante quand la marche est régulière. La fréquence de l'harmonique est à peu près double de celle du voltage appliqué; le champ dans l'entrefer se trouve donc alternativement renforcé et affaibli. Certaines des courbes ont aussi montré la présence d'une harmonique de fréquence quadruple.

Les ampères-tours de réaction ont été calculés d'après le voltage accusé par la bobine d'épreuve et les autres données obtenues; on a pu déterminer ainsi la perte dans les noyaux inducteurs, en employant une formule donnée par une communication précédente. La perte ainsi trouvée expliquait en grande partie la différence des résultats de l'observation et de ceux du calcul en ce qui concerne les pertes d'énergie dans les machines.

L'effet de la réaction d'induit sur la forme de l'onde de tension était faible, mais la forme de l'onde du courant variait dans de larges limites, surtout à cause de l'harmonique de la réaction d'induit. Un grand nombre des courbes enregistrées sont reproduites dans la communication. On observe que la distorsion du champ est bien plus faible en triphasé qu'en monophasé. L'auteur conclut que la surexcitation de la commutatrice améliore la stabilité du système, mais que si le générateur est sous-excité, quand même on maintiendrait constant le rapport des densités de flux dans les entrefers, il y aura à la fois un accroissement des pertes par courants de Foucault et une plus grande instabilité de fonctionnement par suite des oscillations. Il est plus économique de dépenser de l'énergie en surexcitation que de laisser les oscillations s'établir et de les arrêter par des enroulements amortisseurs. Ceux-ci sont nécessaires cependant en cas d'irrégularité périodique de la vitesse du générateur, mais ils n'entrent en action que pour des variations bien marquées dans le circuit magnétique et, quand celui-ci est saturé, les troubles y sont plus faibles.

On a cru jusqu'ici que, dans les machines à courant continu, les courants de Foucault étaient presque entièrement localisés dans l'armature et les épanouissements polaires. On voit d'après ces essais qu'une oscillation périodique se faisant sentir dans tout le circuit magnétique cause des pertes considérables dans les noyaux inducteurs pleins. L'auteur croit que les pertes par courants de Foucault, constatées dans les essais ordinaires, se produisent en grande partie dans la carcasse pleine. Pour y porter remède, il faudrait apporter autant de soin à la construction des dynamos qu'à celle des machines à vapeur. Il n'y a là qu'une question de frais de premier établissement; c'est la compagnie de distribution qui paie l'énergie dissipée dans le système armotisseur.

L'auteur espère que d'autres expériences, portant sur des machines de sous-stations en fonctionnement normal, suivront celles-ci. On a déjà effectué une série d'essais pour déterminer l'effet de la position des balais sur le rendement et la forme d'onde.

P. L.

Le Gérant : C NAUD.



Tome XXXIV — Samedi 31 Janvier 1903. — 10e Année. — N° 5

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

ESSAI SUR LA THÉORIE DES PILES

L'étude de quelques questions de Chimie physique m'a amené à m'occuper plus spécialement des problèmes de l'Electrochimie, et à chercher notamment une base sur laquelle pût s'édifier la Théorie des Piles. C'est cet Essai que je viens publier ici, condensé dans ses parties essentielles à l'intention des lecteurs de *L'Éclairage Électrique*. Ceux que la question intéresse plus particulièrement trouveront, dans un volume que je publierai bientôt, le développement que comportent ces questions si passionnantes, dont la solution ouvre évidemment la voie à la réalisation du problème pratiquement si important de l'accumulateur léger.

Cet Essai sur la Théorie des Piles semble trouver une suffisante sanction dans sa vérification par les faits d'expérience, et aussi par le contrôle des autres formules précédemment établies, lorsqu'il en existe. D'autre part, l'application pratique de ces théories m'a permis d'élever d'une manière très notable la capacité de l'accumulateur au plomb : j'ai obtenu 150 ampères-heure au kilogramme de matière active positive, et à un régime de 20 ampères par kilogramme de matière active positive, et cela dès la cinquième décharge, sans aucune « formation » par conséquent. J'ai pu maintenir cette haute capacité pendant un nombre élevé de décharges : c'est dire par là que j'ai réalisé pratiquement un accumulateur environ deux fois plus léger que l'accumulateur actuel. De plus, les négatives ne subissent jamais ici la sulfatation nocive générale, même par des décharges très prolongées.

Le groupement de ces faits distincts semble donc constituer un faisceau de vérifications expérimentales différentes, qui plaident en faveur de cet Essai sur la Théorie des Piles.



Un couple électrolytique quelconque est fondé sur une réaction chimique : tant que la réaction sera possible, le couple pourra manifester l'existence d'un courant électrique, c'est-à-dire produire la transformation de l'énergie physico-chimique en énergie électrique. Quand la réaction chimique s'arrêtera, toute production d'énergie cessera, toute transformation aussi, par conséquent ; la source du courant sera tarie, et l'on dira le couple complètement « épuisé ». Or, une réaction s'arrête quand un état d'*Équilibre Chimique* s'est établi.

D'autre part, pendant cette transformation de l'énergie physico-chimique en énergie électrique, nous devons pouvoir déterminer la valeur de l'énergie électrique provenant de la transformation de l'énergie physico-chimique, puisqu'il y a évidemment conservation de l'énergie, et comme la quantité d'électricité produite sous forme de courant est bien déterminée par la masse de matière transformée (loi de Faraday), nous devons pouvoir évaluer, à chaque instant, la différence de potentiel sous laquelle a passé ce courant, et donner, par conséquent, l'expression de la *Force Électromotrice* de la réaction au fur et à mesure qu'elle s'accomplit.

Enfin, considérons une réaction bien définie, et le couple électrolytique qui lui correspond, de force électromotrice E. Fermons ses pôles sur une résistance considérable R (y compris la résistance intérieure du couple). Un courant I circule, donné par la loi d'Ohm : $I = \frac{E}{R}$. Faisons décroître lentement R. L'intensité augmente d'abord. Mais la cause du courant étant dans la combinaison des molécules des éléments de la réaction, pour que l'intensité puisse croître indéfiniment, il faudrait que la combinaison puisse tendre vers l'instantanéité. Or, cela n'est pas : la vitesse de combinaison, qui peut se trouver d'abord réglée par la résistance électrique suffisamment élevée, tend vers sa valeur limite : la *Vitesse de la Réaction* considérée, à laquelle correspond une intensité de courant par là-même bien déterminée, et maxima possible. La loi d'Ohm continuant à s'appliquer, si l'on fait décroître la résistance R au-dessous de la valeur correspondant à cette intensité maxima possible, la différence de potentiel se met à baisser rapidement : on dit que l'élément « se polarise » à partir de cette valeur du débit [1].

Ainsi l'étude de l'Équilibre Chimique de la Réaction, de sa Force Électromotrice et de sa Vitesse, est la base théorique fondamentale sur laquelle nous pouvons chercher à édifier la Théorie des Piles.

Première partie. — Théories fondamentales.

L'Alchimie, ensemble de connaissances flottantes et indécises, s'est transformée en une science nette et précise, la Chimie, avec Lavoisier, par la découverte et l'application de la loi de la Conservation de l'Énergie dans l'attraction universelle : forme d'énergie dite « pondérable », et communément appelée « matière ». Une transformation du même genre s'est opérée en Physique, avec l'application des lois de la Mécanique : Conservation de l'Énergie en général, sous ses différentes formes, notamment autres que l'énergie pondérable. Le domaine de l'électricité mécanique s'est trouvé transformé de ce fait, et l'étude théorique des machines a dès lors fait prendre à l'industrie naissante un essor inouï.

La même révolution est en train de se produire à nouveau en Chimie, par la venue au jour d'une science relativement récente, née à la suite des découvertes de Henri Sainte-

[1] C'est là une méthode très précieuse pour la détermination facile et rapide de la vitesse de réaction, dans un grand nombre de cas.



Claire Deville et de ses disciples sur les phénomènes de Dissociation : la Chimie physique, que l'on pourrait appeler la philosophie des sciences physiques et naturelles, car elle cherche à saisir le caractère général du phénomène dans le fait particulier de l'expérience, et c'est à ce titre qu'elle introduit en Chimie les mathématiques pour étudier l'évolution des phénomènes.

Ainsi peut-on faire intervenir dans les problèmes de la Chimie les lois de la mécanique physique, et il est à prévoir que cette introduction portera ses fruits.

Or, les deux lois les plus générales du monde physique sont, d'une part : la Conservation de l'Énergie, principe dont on fait aujourd'hui une application courante et fructueuse en Mécanique et en Electricité. La seconde de ces lois est la Tendance universelle de la nature vers un état de minimum d'énergie potentielle : cette tendance se réalise par suite dans tout système libre. Comme de toute loi générale du monde physique, on ne peut en donner de démonstration, mais on doit se contenter de la poser en principe et d'en montrer seulement des vérifications particulières. C'est ainsi, par exemple, que l'application de cette loi permet de trouver immédiatement la formule de sensibilité de la balance et de donner une démonstration originale du « principe » d'Archimède, qui a l'avantage de rattacher ce « principe » à la grande loi naturelle de la Tendance au minimum de l'énergie potentielle, tendance qui se réalise dans tout système libre (1).

---

(1) Voici cette démonstration :

Une des grandes lois de la nature est la tendance au minimum de l'énergie potentielle, tendance qui se réalise dans tout système libre : un corps flottant dans un fluide constitue bien un système libre ; l'équilibre doit donc se produire lorsque l'énergie potentielle du système est minimum. Ainsi le « principe » d'Archimède se rattacherait à ce grand principe naturel, et y trouverait sa raison ; tandis que les démonstrations que l'on en donne, basées sur l'existence de la « poussée », semblent ne pas satisfaire l'esprit, car elles ne lui montrent pas la cause même et la raison dernière du phénomène.

On démontre d'abord très facilement la première partie du principe d'Archimède : le centre de gravité du corps et le centre de gravité du fluide déplacé (centre de « poussée »), sont sur la même verticale. Pour cela on écrit le minimum de l'énergie potentielle relative à l'orientation du corps, en prenant comme plan de comparaison un plan horizontal passant par le centre de gravité du fluide déplacé.

Démontrons ici la deuxième partie du principe. Soient deux fluides superposés (fig. *a*.), et un corps flottant dans leur plan de séparation. Dans l'ensemble des deux fluides, le corps est totalement immergé : le volume total de fluide est donc invariable, et, par suite, un petit mouvement du corps flottant engendre dans l'un et l'autre fluide une variation de volume complémentaire. Ceci posé, soit la position d'équilibre atteinte : donnons au corps flottant un petit déplacement ($+dz$), par exemple ; c'est la section S du solide par le plan de séparation des deux fluides qui engendre une variation de volume : $dV = Sdz$, mais c'est le pourtour du corps qui déplace ce volume. Considérons un élément de surface $d\omega$ dans le plan S : cet élément déplace dans son mouvement un poids de fluide $\pi d\omega\, dz$, mais par la surface extérieure du corps, et fait ainsi passer cette petite masse de fluide d'un point de la surface du solide à la surface du fluide inférieur. Du moins, au point de vue de l'énergie dépensée, tout revient à le supposer : le travail élémentaire est donc : $\pi\, d\omega\, dz \times h$, mais en remarquant que h est toujours parcouru dans le sens contraire à la variation dz. De même, pour le deuxième fluide, tout revient à supposer que, le reste du fluide demeurant immobile, les molécules ont passé du plan de séparation sur la surface correspondante du solide, car la hauteur du fluide inférieur a crû dans le vase, et le volume total n'a pas varié. Le travail élémentaire correspondant a pour expression : $\pi' d\omega\, dz \times h'$, en remarquant que, comme précédemment, h' est parcouru toujours dans le sens contraire à la variation dz.

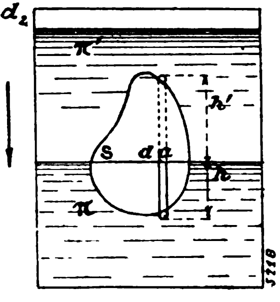


Fig. *a*.

La variation d'énergie potentielle de l'ensemble du système peut donc s'écrire :

$$dy = Pdz + \pi\, dz \int (-h)\, d\omega + \pi'\, dz \int (-h')\, d\omega,$$

et pour que l'énergie potentielle de l'ensemble du système soit minimum, il faut et il suffit que l'on ait : $\frac{dy}{dz} = o$,



Nous allons nous appuyer sur ce principe pour établir la formule de l'équilibre chimique, déjà obtenue par d'autres méthodes, et nous donnerons ainsi une nouvelle vérification de cette loi naturelle. En même temps, nous rattacherons par là l'Equilibre chimique à toutes les autres formes d'équilibre du monde physique, et il semble que l'esprit doit être ainsi plus profondément satisfait. parce qu'il saisit alors la cause même, et la raison dernière du phénomène. De plus, cette méthode d'exposition, en dehors de sa grande simplicité et de sa rapidité, aura l'avantage de relier les formules de Le Chatelier et de Van't Hoff à celles de Horstmann et de Gibbs. D'autre part, l'application de l'un des critériums d'équilibre de Gibbs à la formule ainsi établie, rend manifeste une loi sur les capacités calorifiques du composé et du mélange des composants, qui ne paraît pas avoir été jamais indiquée et que l'expérience vérifie.

L'ÉQUILIBRE CHIMIQUE

I. *Température constante.* — Soit la réaction réversible : $n(A) + n(B) \rightleftarrows n''(A+B)$. Supposons l'équilibre atteint : la température absolue est T.

Appelons :

$p, p', p'', \ldots$, les pressions partielles propres des molécules des composants et du ou des composés, qu'il s'agisse de pressions gazeuses ou osmotiques ;

$n, n', n'', \ldots$, les nombres de molécules de chaque corps intervenant dans l'équilibre, dans la réaction moléculaire la plus simple ;

$e, e', e'', \ldots$, l'énergie potentielle moléculaire interne caractéristique de chaque corps, exprimée en calories par molécule-kilogramme.

On sait, d'autre part, que l'énergie potentielle externe d'une masse gazeuse, exprimée

---

c'est-à-dire :

$$P = \pi V + \pi' V',$$

avec : $V + V' = W$, volume total du corps, car, dans la sommation des travaux élémentaires, il s'est trouvé que les intégrales ont justement engendré les volumes immergés, mais négativement.

On peut en déduire le cas d'un corps totalement immergé dans un seul fluide, en faisant $\pi = \pi'$; et le cas d'un corps flottant dans le vide sur un seul fluide, en faisant $\pi' = 0$.

On voit que c'est à ce fait que les chemins parcourus h sont toujours de signe contraire au petit déplacement dz du corps flottant, que les poids de fluides déplacés, *essentiellement positifs*, doivent d'intervenir négativement : c'est parce que le déplacement de ces fluides constitue toujours des travaux de signe contraire au travail effectué par la translation du corps flottant.

Il est à noter que cette démonstration du principe d'Archimède ne suppose pas du tout l'existence de la « poussée », réaction verticale ascendante : au contraire, elle applique une force verticale descendante, un poids à la masse fluide déplacée ; ce sont les chemins parcourus, de signe contraire à la translation du corps flottant, qui introduisent dans la formule des termes négatifs. Cependant, lue, par exemple, sous la forme : $dy = V(\varpi - \pi')\,dz$, dans le cas d'un corps totalement immergé dans un seul fluide, cette relation montre que tout se passe comme si le corps éprouvait une perte apparente de poids égale au poids du fluide déplacé : ceci est une conséquence du principe de la conservation de l'énergie, car, le corps, en tombant, travaille à élever son volume de fluide de la même quantité : il n'y a donc plus que la différence entre ces deux travaux qui puisse se manifester à l'état de travail ; c'est pourquoi la force résultante apparaît comme une différence entre deux forces, le poids du corps, et le poids du fluide déplacé, car pour un petit déplacement du corps, les chemins parcourus par ces deux forces sont égaux, mais de signes contraires ; et c'est par suite de ces signes toujours contraires des translations que le poids, essentiellement positif, du fluide déplacé intervient négativement : ainsi peut s'introduire la notion de « poussée », réaction verticale ascendante, égale à un poids, force verticale descendante ; mais cette notion de « poussée » n'apparaît plus ici que comme une interprétation, tout au plus comme un fait concomitant, conséquence du principe de la conservation de l'énergie, et non comme la cause même du phénomène. C'est, en effet, que le principe d'Archimède a sa raison dernière dans le grand principe naturel de la tendance au minimum de l'énergie potentielle, dont il n'est que la conséquence, et une manifestation de plus.



en calories, a pour expression : $ApvLp$, et, en considérant des masses gazeuses moléculaires, on sait que cette expression a pour équivalente : $2TLp$ (1).

Puisque l'équilibre est atteint, le système étant libre et la réaction réversible, c'est que l'énergie potentielle de l'ensemble du système est minimum. Par suite, tout petit déplacement imprimé au système autour de sa position d'équilibre, et compatible avec ses liaisons, ne doit produire aucune variation dans l'énergie potentielle; or, le plus petit déplacement compatible ne serait évidemment occasionné que par une nouvelle combinaison ou décomposition dans la réaction moléculaire la plus simple, c'est-à-dire avec l'intervention des n, n', n''..., molécules, et, pendant ce petit déplacement, les variations de la pression seront des infiniment petits d'ordre supérieur, et sont par conséquent, négligeables mathématiquement.

Nous écrirons donc que la variation d'énergie potentielle du système du fait de la disparition de n molécules du corps (A), de n' molécules du corps (B), et de la formation de n'' molécules du corps (A + B), est nulle :

Variation de l'énergie potentielle du système = o.

Variation de l'énergie potentielle du système :

Par disparition	Par formation
de n mol. de (A); de n' mol. de (B) ;	de n'' mol. de (A + B) :
$-n(e+2TLp)-n'(e'+2TLp')$	$+n''(e''+2TLp'')=0.$

On tire immédiatement de cette égalité l'expression :

$$2T\left[nLp+n'Lp'-n''Lp''\right]=n''e''-n'e'-ne,$$

et on retrouve aussitôt la formule de Le Chatelier : $L\frac{p^n p'^{n'}}{p''^{n''}}=$ constante, ainsi que la formule équivalente de Van't Hoff : $\frac{c\times c'}{c''}=$ constante, c, c', c'', représentant les concentrations des divers corps intervenant dans l'équilibre.

II. *Influence de la température.* — On a évidemment, et par définition même, Q_T représentant la chaleur dégagée à T degrés, dans une réaction à volume constant, dans la formation complète du second système ($''$) aux dépens du premier dans la réaction moléculaire la plus simple, et c_m, c'_m, c''_m, étant les chaleurs spécifiques moléculaires à volume

---

(1) On a, en effet, pour un poids constant de gaz parfait : $PV = RT$.

En considérant des *masses gazeuses moléculaires*, et comme conséquence des lois d'Avogadro et de Mariotte et Gay-Lussac, que le coefficient de T est le même pour tous les gaz, l'on a : $\frac{APV}{T}=2$, très sensiblement.

Faisons, par exemple, ce calcul dans le cas de l'hydrogène : une molécule-kilog, à 0°, sous 760 mm de pression.

$A =$ Equivalent calorifique du kilogrammètre $= \frac{1}{423}$.

$P =$ Pression atmosphérique de 760 mm, en kgs par m² = 10 333.

$T =$ Température absolue = 273.

$V =$ Volume d'une molécule-kilog sous la pression P et à la température T :

$V = \frac{\text{Poids d'une molécule-kg}}{\text{Densité à 0° et 760 mm}} = \frac{2}{0,08956} = 22,33$ m³ = constante pour tous les gaz : c'est le volume « moléculaire ».

D'où l'on déduit :

$$\frac{APV}{T}=\frac{1}{423}\times 10333\times\frac{2}{0,8956}\times\frac{1}{273}=1,998, \text{ soit très sensiblement } 2.$$



constant :

$$Q_T = ne + n'e' - n''e'' + \int_0^T nc_m dT + \int_0^T n'c'_m dT - \int_0^T n''c''_m dT ;$$

ce n'est écrire là que la loi de la conservation de l'énergie.

En admettant, pour simplifier, la loi approchée de Regnault sur les chaleurs spécifiques, nous avons :

$$Q_T = ne + n'e' - n''e'' + T(nc_m + n'c'_m - n''c''_m).$$

Nous pouvons donc poser l'expression :

$$L\frac{p^n p'^{n'}}{p''^{n''}} = -\frac{Q_T}{2T} + \frac{1}{2}\left(nc_m + n'c'_m - n''c''_m\right) = k.$$

k étant une constante, à température constante, pour un système donné.

De cette égalité même nous déduisons l'expression de l'influence de la température sur la constante d'équilibre.

Nous avons, en effet, immédiatement :

$$\frac{dk}{dT} = \frac{Q_T}{2T^2},$$

et nous retrouvons ainsi très simplement l'ensemble des deux relations déjà connues sur l'équilibre chimique.

Conséquences. — Nous avons trouvé la relation :

$$L\frac{p^n p'^{n'}}{p''^{n''}} = -\frac{Q_T}{2T} - \frac{1}{2}\left(n''c''_m - n'c'_m - nc_m\right) = k.$$

Or, nous pouvons remarquer que la variation de capacité calorifique, c'est-à-dire par conséquent la variation d'entropie de l'ensemble du système dans le plus petit déplacement compatible vers la formation du second système, a pour valeur :

$$\Delta S = (n''c''_m - n'c'_m - nc_m.)$$

Nous avons donc écrit, en fin de compte, le critérium d'équilibre :

$$pdv + du - Tds = 0,$$

où du représente la variation d'énergie interne (ici : $-Q_T$), ds la variation d'entropie, et pdv la variation d'énergie externe $\left(\text{ici} : -2TL\frac{p^n p'^{n'}}{p''^{n''}}\right)$, dans le plus petit déplacement compatible imprimé au système.

Nous convenons d'appeler toujours second système celui dont la formation aux dépens de l'autre est exothermique (Q_T toujours > 0, par conséquent), car c'est ainsi seulement que la réaction peut se produire d'elle-même, sans l'intervention d'énergie étrangère.

La relation que nous avons trouvée écrit que l'énergie potentielle du système reste constante dans le plus petit déplacement compatible. Appliquons donc l'un des deux critériums équivalents de l'équilibre formulés par Gibbs :

$$dS \text{ à énergie potentielle constante} \leq 0.$$

Nous en déduisons immédiatement :

$$\Delta S = n''c''_m - n'c'_m - nc_m \leq 0,$$

c'est-à-dire la loi suivante :



« La capacité calorifique (à volume constant) du second membre de la réaction lue dans le sens exothermique est toujours plus petite que la capacité calorifique (à volume constant) du premier membre de la réaction. »

Exemples et vérification :		Sens exothermique : $\to$.
$H^2 + O \to H^2O$.	$H^2O + Cl^2 \to 2HCl + O$ [1].	$Az^2O \to 2Az + O$.
$7,302 > 6,66$.	$13,26 > 12$.	$7,964 > 7,28$.
$H^2 + Cl^2 \to 2HCl$.	$H^2 + AzO \to H^2O + Az$.	$AzO \to Az + O$.
$11,422 > 9,52$	$9,772 > 9,06$	$4,95 > 4,88$.

Nous pouvons écrire, d'autre part, la relation trouvée précédemment :

$$L\,\frac{p^n p'^{n'}}{p''^{n''}} = -\frac{Q_T}{2T} - \frac{1}{2}\left(n''c''_m - n'c'_m - nc_m\right) = k = \frac{1}{2}\left(-\frac{Q_T}{T} - \Delta S\right).$$

Nous avons, par conséquent :

$$-T\Delta S = (nc_m + n'c'_m)\,T - n''c''_m\,T.$$

Le deuxième membre de cette égalité représente la différence entre les quantités de chaleur emmagasinées dans les deux membres de la réaction, c'est-à-dire, finalement, la quantité de chaleur mise en liberté dans la réaction par suite des différences de capacité calorifique du premier et du deuxième membres de la réaction, quantité de chaleur que nous appellerons : q_T.

Suivant donc que l'on a :

$$(-\Delta S \text{ est} > 0).$$

$$-\Delta S > \frac{Q_T}{T}, \text{ c'est-à-dire : } q_T > Q_T. \text{ Alors : } k > 0 \text{ et, par conséquent : } \frac{p^n p'^{n'}}{p''^{n''}} > 1,$$

et l'on peut dire que le premier système l'emporte sur le second dans l'équilibre.

$$-\Delta S < \frac{Q_T}{T}, \text{ c'est-à-dire : } q_T < Q_T. \text{ Alors : } k < 0 \text{ et, par conséquent : } \frac{p^n p'^{n'}}{p''^{n''}} < 1,$$

et l'on peut dire que le second système l'emporte sur le premier dans l'équilibre.

$$-\Delta S = \frac{Q_T}{T}, \text{ c'est-à-dire : } q_T = Q_T. \text{ Alors : } k = 0 \text{ et, par conséquent : } \frac{p^n p'^{n'}}{p''^{n''}} = 1,$$

et l'on peut dire que les deux systèmes sont « équivalents » dans l'équilibre.

A mesure que la température s'élève, la constante k croît d'une manière continue : on le voit d'ailleurs par la différentielle $\frac{dk}{dT} = \frac{Q_T}{2T^2} >$ toujours > 0, Q_T étant toujours > 0, dans notre convention.

Il en résulte ce fait qu'au zéro absolu les réactions exothermiques ont complètement déplacé toutes les autres et que l'élévation de la température amène le fonctionnement des réactions dans le sens endothermique. Nous retrouvons là le principe de Le Chatelier, sur « l'Action et la Réaction » : à une élévation de température correspond un déplacement de l'équilibre dans le sens d'une absorption de chaleur, et inversement.

[1] C'est bien là le sens exothermique, car HCl se combine à la vapeur d'eau en excès. — La réaction spontanée se fait d'ailleurs dans ce sens, tandis qu'il faut opérer à haute température pour faire la réaction contraire qui est, par conséquent, endothermique.

***



FORCE ÉLECTROMOTRICE DES RÉACTIONS

I. *Température constante.* — L'énergie potentielle du système transformée en énergie actuelle à un moment donné, par une combinaison des éléments dans la réaction moléculaire la plus simple, est évidemment, en conservant nos mêmes notations, et, par suite, exprimée en calories par molécule-kilog :

$$\underbrace{+n(e+2\text{T}\text{L}p)+n'(e'+2\text{T}\text{L}p')+\ldots}_{\text{Molécules qui disparaissent en mettant en liberté leur énergie ; +}} \quad \underbrace{-n''(e''+2\text{T}\text{L}p'')-\ldots}_{\text{Molécules qui se forment en absorbant de l'énergie ;}}$$

La Force Électromotrice est proportionnelle, évidemment, à cette expression qui représente justement la chaleur dégagée dans la réaction au moment donné où les corps possèdent les pressions p, p', p''..., et le multiplicateur constant de transformation n'est par conséquent pas autre chose que l' « équivalent électrochimique de la calorie », c'est-à-dire : $4{,}32 \times 10^{-5} \times \frac{1}{\nu}$, comme ν étant le nombre des valences rompues à partir des ions dans l'électrolyse, dans la réaction moléculaire la plus simple.

La formule de l'Équilibre Chimique nous permet d'éliminer : $ne+n'e'-n''e''$, et nous avons ainsi, l'indice o représentant les valeurs des pressions au moment de l'équilibre :

$$\varphi = 4{,}32 \times 10^{-5} \times \frac{1}{\nu} \times 2\text{T} \left[\text{L}\, \frac{p^n p'^{n'}}{p''^{n''}} - \text{L}\, \frac{p_o^n p'^{n'}_o}{p''^{n''}_o} \right].$$

ou :

$$\varphi = 4{,}32 \times 10^{-5} \times \frac{1}{\nu} \times 2\text{T} \times \text{L}\, \frac{p^n p'^{n'}}{\text{K}_0 p''^{n''}},$$

K_0 étant la constante d'équilibre du système.

II. *Influence de la température.* — En différentiant l'égalité précédente par rapport à T, et en remarquant que l'on a : $k = \text{LK}$ et $\frac{dk}{d\text{T}} = \frac{\text{Q}_\text{T}}{2\text{T}^2}$, nous trouvons :

$$\frac{d\varphi}{d\text{T}} = 4{,}32 \times 10^{-5} \times \frac{1}{\nu} \times 2 \left[\text{L}\, \frac{p^n p'^{n'}}{\text{K} p''^{n''}} - \frac{\text{Q}}{2\text{T}} \right].$$

c'est-à-dire encore :

$$\frac{d\varphi}{d\text{T}} = \frac{\varphi}{\text{T}} - 4{,}32 \times 10^{-5} \times \frac{1}{\nu} \times \frac{\text{Q}}{\text{T}},$$

expression d'où l'on peut déduire la chaleur de réaction Q pour une concentration quelconque, en fonction de la température absolue T, de la force électromotrice φ, et du coefficient thermique à ce moment : $\frac{d\varphi}{d\text{T}}$:

$$\text{Q} = \frac{10^5 \times \nu}{4{,}32} \left[\varphi - \text{T}\, \frac{d\varphi}{d\text{T}} \right].$$

Cette formule permet donc de suivre les variations de la chaleur de réaction avec la concentration.

J'ai vérifié cette théorie à l'aide des résultats d'un travail de M. J. Chaudier sur l'élément Daniell (1). Voici, par exemple, la variation de la chaleur de réaction Q avec la concentration,

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXX, p. 328, 1er mars 1902.

déterminée d'après cette dernière formule, et sa comparaison avec la valeur calculée directement. La courbe de la figure 1 donne la variation de la force électromotrice.

Concentration maintenue constante en SO^4Cu (saturation).
Température : 15°. $T = 273 + 15 = 288$.

CONCENTRATION $SO^4Zn, 7H^2O$ pour 100 gr d'eau.	FORCE ÉLECTROMOTRICE φ	COEFFICIENT THERMIQUE $\frac{d\varphi}{dT}$	CHALEUR DE RÉACTION CALCULÉE Q
	volt.		
0	1,0590	— 0,00240	81,030
1/12	1,1138	— 0,00015	53,565
1/6	1,1151	— 0,00013	53,357
1/2	1,1368	+ 0,00005	51,964
1	1,1331	+ 0,00005	51,792
2	1,1263	+ 0,00030	48,144
4	1,1249	+ 0,00030	48,080
6	1,1208	+ 0,00016	49,756
10	1,1188	— 0,00003	52,196
30	1,1054	— 0,00020	53,854
60	1,1003	»	»
200	1,0902	— 0,00026	53,940

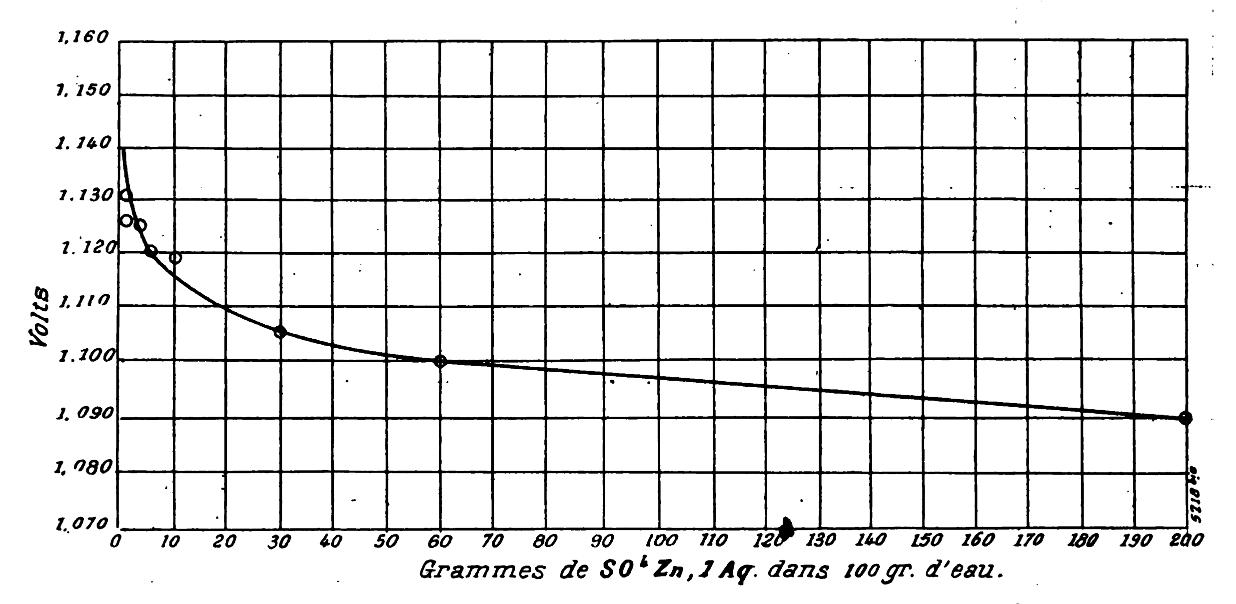


Fig. 1. — Force électromotrice de l'élément Daniell, en fonction de la concentration en sulfate de zinc.
⊙ Résultat direct de l'expérience —— Courbe théorique.

Par le calcul direct nous avons :

Chaleur de formation du sulfate de zinc :	$2 \times 53,500 =$	107,000.
» sulfate de cuivre :	$2 \times 28,200 =$	56,400.
Différence :		50,600.

valeur qui se place bien parmi ces nombres.

Il convient de noter la valeur anormale pour la dilution infinie en sulfate de zinc, ce qui montre bien que, pour les grandes dilutions, il faut tenir compte des phénomènes d'ioni-



sation et d'hydrolyse, et que ce ne sont plus du tout les mêmes réactions qui se passent à ce moment.

On trouve d'autre part, théoriquement, que si l'on emploie des solutions équimoléculaires des deux sulfates, la force électromotrice est constante, ainsi que le coefficient thermique, quelle que soit la concentration absolue des deux solutions. J'ai vérifié expérimentalement ce fait, avec l'emploi d'une membrane semiperméable de ferrocyanure de cuivre, et j'ai constitué ainsi un élément-étalon spécial.

Expériences de M. Georges Rosset

Solutions équimoléculaires des deux sulfates de cuivre et de zinc, séparées par une membrane semiperméable de ferrocyanure de cuivre : élément-étalon spécial.

Nombre de molécules-grammes par litre de solution.	Sulfate de cuivre pour 100 gr de solution.		Sulfate de zinc pour 100 gr de solution.		Force électromotrice à 15° C. φ	Coefficient thermique $\frac{d\varphi}{dT}$.
	hydraté $5H^2O$.	anhydre.	hydraté $7H^2O$.	anhydre.		
	p. 100.	p. 100.	p. 100.	p. 100.	volt.	
1,348	28	17,89	32	17,95	1,105	— 0,0002
1,000	21,56	13,78	24,82	13,93	1,104	— 0,0002
0,750	16,69	10,66	19,21	10,78	1,106	— 0,0002
0,500	11,52	7,36	13,26	7,44	1,104	— 0,0002
0,250	5,93	3,79	6,85	3,84	1,105	— 0,0002
0,125	3,03	1,94	3,49	1,96	1,093	— 0,0002
0,0625	1,53	0,97	1,76	0,99	1,087	— 0,0002

Voici un tableau donnant la force électromotrice calculée par notre expression, ainsi que le coefficient thermique, en comparaison avec les résultats de l'expérience directe, pour l'élément Daniell.

Expériences de M. J. Chaudier, à 15° C.

$SO^4Cu\ 5H^2O$.	SO^4Zn 7 H^2O pour 100 gr. d'eau.	φ calculée.	φ expérimentale.	φ calculée. — φ expérimentale	$\frac{d\varphi}{dT}$ calculé.	$\frac{d\varphi}{dT}$ expérimental.	$\frac{d\varphi}{dT}$ calc. — $\frac{d\varphi}{dT}$ exp.
	gr.	volt.	volt.				
	0,5	1,1469	1,1368	+ 0,0101	»	+ 0,00005	»
	1	1,1395	1,1331	+ 0,0064	+ 0,00037	+ 0,00005	+ 0,00022
	2	1,1322	1,1263	+ 0,0059	+ 0,00029	+ 0,00030	— 0,00001
	4	1,1249	1,1249	0,0000	+ 0,00021	+ 0,00030	— 0,00009
Solution saturée.	6	1,1208	1,1208	0,0000	+ 0,00016	+ 0,00016	0,00000
	10	1,1154	1,1188	— 0,0034	+ 0,00009	— 0,00003	+ 0,00012
	30	1,1046	1,1054	— 0,0008	— 0,00003	— 0,00020	+ 0,00017
	60	1,0985	1,1003	— 0,0018	— 0,00012	»	»
	200	1,0903	1,0902	+ 0,0001	— 0,00026	— 0,00026	0,00000

Voici encore une vérification expérimentale de notre expression par l'influence de la concentration en acide de l'électrolyte sur la force électromotrice de l'accumulateur au plomb, influence indiquée dans le tableau et la courbe ci-joints.

Expériences de M. G. Roux. — Température : 17° C.

Force électromotrice de l'accumulateur au plomb, en fonction de la concentration de l'électrolyte en acide sulfurique.

Concentration en gramme d'acide par litre de solution.	φ calculée.	φ expérimentale.	φ calculée. — φ expérimentale.
	volt	volt.	
210	1,9891	1,992	— 0,0029
223	2,0000	2,000	0,0000
236	2,0104	2,010	+ 0,0004
253	2,0231	2,022	+ 0,0011
270	2,0350	2,035	0,0000
296	2,0518	2,050	+ 0,0018
320	2,0661	2,065	+ 0,0011
355	2,0850	2,085	0,0000
390	2,1023	2,105	— 0,0027

Fig. 2. — Force électromotrice de l'accumulateur au plomb, en fonction de la concentration de l'électrolyte en acide sulfurique.

⊙ Résultat direct de l'expérience. —— Courbe théorique.

Enfin, il convient de noter que nous allons trouver dans les applications pratiques (IIe partie), de nouvelles confirmations de cette expression ; nous allons, en effet, pouvoir donner

les équations des courbes de décharge de différentes piles, dans certains cas, et comparer ces courbes à celles obtenues par l'expérience directe.

Rapprochement avec la formule de Lord Kelvin. — La formule de Lord Kelvin est :

$$\varphi = KQ + T\frac{d\varphi}{dT},$$

K étant une constante.

On voit que nous avons retrouvé cette formule en étudiant l'influence de la température dans l'expression :

$$\frac{d\varphi}{dT} = \frac{\varphi}{T} - 4{,}32 \times 10^{-5} \times \frac{1}{\nu} \times \frac{Q}{T}.$$

Rapprochement avec la formule de Nernst. — La formule de Nernst est, par exemple, pour le couple Daniell :

$$\varphi = KT\left[L\frac{P}{p} - L\frac{P'}{p'}\right]T + \frac{d\varphi}{dT},$$

P et P′ représentant les tensions de dissolution du zinc dans le sulfate de zinc et du cuivre dans le sulfate de cuivre, p et p' représentant les pressions osmotiques des ions zinc et des ions cuivre.

K étant une constante.

Ecrite ainsi :

$$\varphi = \frac{K}{2} \times \left[2TLP - 2TLp - 2TLP' + 2TLp'\right] + T\frac{d\varphi}{dT},$$

on voit immédiatement que la parenthèse [ ] représente la chaleur dégagée dans la réaction (par variation de pression seulement, car on ne suppose pas de destruction de molécules ici), les nouvelles molécules dissoutes de zinc et déposées de cuivre passant des pressions P et p' aux pressions p et P′. — Ainsi cette formule est pratiquement identique à celle de Lord Kelvin : elle en exprime la grandeur Q dans l'hypothèse de l'ionisation ; elle s'identifie donc également, en réalité, avec notre formule.

Mais nous différons complètement de la formule de Nernst, comme point de départ et comme expression, en ce sens que nous ne nous appuyons pas du tout sur l'hypothèse de l'ionisation, qui suppose ici une dissolution et un dépôt continus de molécules de métal qui ne changeraient pas d'état chimique, mais seulement de pression physique, fait très discutable, admissible tout au plus pour les solutions infiniment diluées, car l'ionisation n'est totale que dans ces conditions. Il est à noter, au contraire, que notre formule ne repose sur aucune hypothèse, sinon sur la loi de la conservation de l'énergie, et qu'elle s'applique, théoriquement même, depuis la première molécule dissoute jusqu'aux fortes concentrations de l'équilibre : elle n'est troublée pratiquement que par la variation de la chaleur de réaction avec la concentration, et pour son application rigoureuse, il faudrait tenir compte dans l'évaluation des pressions osmotiques p, p', p''... des phénomènes d'hydrolyse et de dissociation électrolytique, à l'aide du coefficient d'isotonie, en écrivant l'équilibre chimique entre les ions et l'électrolyte.

Dans tous les cas, notre expression de φ a l'avantage d'être très simple, et de ne pas être embarrassée du coefficient thermique : on peut donc suivre très facilement en pratique les variations de la force électromotrice avec la concentration, faire ainsi la théorie des différentes piles, et en donner souvent l'équation des courbes de décharge dans des conditions déterminées.



RÉSISTANCE ÉLECTROLYTIQUE

Cette étude est une application du travail précédent sur la force électromotrice des réactions.

Puisque nous pouvons calculer la chaleur de réaction Q d'un électrolyte à une concentration quelconque, en mesurant la température, la force électromotrice de décomposition de cet électrolyte, le coefficient thermique $\frac{d\varphi}{dT}$, nous pouvons suivre ainsi les variations de la constante d'équilibre avec la concentration :

$$k = \frac{1}{2}\left(nc_m + n'c'_m - n''c''_m\right) - \frac{Q_T}{2T} = k_0 - \frac{Q}{2T} .$$

Nous pouvons donc étudier avec exactitude la résistance des électrolytes, en leur appliquant l'hypothèse de l'ionisation d'Arrhénius, et en écrivant l'équilibre chimique entre les ions et l'électrolyte : car nous connaîtrons exactement la constante d'équilibre, pour chaque concentration, en la calculant par cette formule.

C'est là une étude que je me propose d'entreprendre, en vue de faire disparaître les anomalies que l'on a constatées dans l'application de l'hypothèse d'Arrhénius au cas des acides forts et des bases fortes.

D'autre part, au point de vue pratique, cette étude formera un complément très précieux pour l'examen des problèmes si importants de l'Electrolyse industrielle : ce sera là la matière d'une prochaine publication.

VITESSE DES RÉACTIONS

Nous avons établi précédemment l'existence et l'expression d'une différence de potentiel (exprimée en calories) ou force électromotrice de réaction (exprimée en volts). La loi de la conservation de l'énergie amène à écrire, en mécanique : $v^2 = 2\,gh$; h étant justement une différence de potentiel, et v étant la vitesse avec laquelle le potentiel diminue. Il ne faudrait pourtant pas s'imaginer que l'on pourrait pousser l'analogie jusqu'à l'identité et écrire : $\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 = k\varphi$. L'expérience ne vérifie pas, en effet, cette hypothèse. Mais on peut remarquer que c'est la réaction qui fait diminuer le potentiel et, par suite, supposer qu'il existe un « champ de forces » pour les actions chimiques, d'intensité γ, et écrire :

$$v^2 = \left(\frac{dn''}{dt}\right)^2 = 2\gamma \times \varphi = 2\gamma \times 2\mathrm{TL}\,\frac{p^n p'^{n'}}{\mathrm{K}p''^{n''}} .$$

J'ai vérifié cette expression en l'appliquant au cas de l'acide iodhydrique, où, après intégration, une quantité : $\mathrm{N}\sqrt{\frac{2\gamma}{m}} \times \sqrt{\mathrm{T}}$ doit rester constante pendant toute la durée du phénomène.

Van't Hoff, dans ses *Leçons de Chimie-Physique* (t. I, p. 185), s'exprime ainsi : « La vitesse de réaction paraît dépendre de la différence des valeurs d'une certaine fonction de la concentration des deux corps ou systèmes de corps qui se transforment l'un en l'autre ; l'égalité de ces valeurs est la condition de l'équilibre. La vitesse est proportionnelle à la différence en question, pourvu que d'autres facteurs n'interviennent pas pendant la transformation », c'est-à-dire qu'il pose : $\frac{dC_{HI}}{dt} = k\,[C_{I^2} \times C_{H^2} - KC^2_{HI}]$. Faisons-en également l'application au cas de l'acide iodhydrique.



	Expérimentateurs	Sens de la réaction	Temps en heures.	Molécules de mélange.	Température ordinaire.	Température absolue.	Constante : ? Van't Hoff.	Constante : ? Cette théorie.
2000 molécules au total.	Lemoine	Décomposition	9 h	60	350°	623°	»	4,0804
		Formation	76 h 251	580	350°	623°	0,0468	3,2193
		»	34 » 293	960	»	»	0,0486	3,4248
		»	8 » 319	1380	»	»	0,1533	3,4266
		»	3 » 324	1760	»	»	0,3547	3,2046
	Meyer et Bodenstein	Décomposition	5 h	47	440°	713°	0,0149	4,2781
		»	15 »	310	»	»	0,0171	4,1788
		»	60 »	380	»	»	0,0173	3,4625

D'après notre théorie, nous devons avoir : $\dfrac{N\sqrt{\dfrac{2\gamma}{m}}\times\sqrt{T}}{\sqrt{T}} = c^{te}$.

Nous trouvons, en effet :

	Expériences de :	Température :		$\log N\sqrt{\dfrac{2\gamma}{m}}$.
Décomposition de HI.	Lemoine.	$t = 350°$	$T = 623°$	2,6832
	Meyer.	440°	713°	2,8517
	et	440°	713°	2,7523
	Bodenstein	440°	713°	2,0359

Rien ne prouve que l'équilibre n'ait pas été atteint avant la soixantième heure dans ces dernières expériences, ce qui expliquerait cette dernière valeur faible.

J'ai vérifié également que l'on ne pouvait pas poser v (au lieu de v^2) égale à l'expression précédente. On trouve, en effet :

Formation de HI.	n.	Constante : ? avec : v.	Constante : ? avec : v^2.
Expériences de Lemoine	580	»	3,2193
	960	3,6354	3,4248
Température : 350° — Température absolue : 623°. . .	1380	4,5843	3,4266
	1760	4,8823	3,2046

J'ai examiné également d'autres hypothèses sur $\gamma = f(t)$; mais il paraît très rationnel de s'en tenir à supposer $\gamma = c^{te}$ pour un système donné.

Rapprochement avec la formule de Van't Hoff. — J'ai posé la grandeur v^2 proportionnelle à $L\,\dfrac{p^n p'^{n'}}{Kp''^{n''}}$. Développons $L\,\dfrac{p^n p'^{n'}}{Kp''^{n''}}$ en série. Nous obtenons :

$$L\,\frac{p^{n'}p'^{n}}{Kp''^{n''}} = L\left[1 + \left(\frac{p^n p'^{n'}}{Kp''^{n''}} - 1\right)\right] = L\,[1 + X] = 0 + \frac{\dfrac{p^n p'^{n'}}{Kp''^{n''}} - 1}{1} - \frac{X^2}{2} + \frac{X^3}{3}\cdots$$

En nous en tenant au premier terme du développement en série, nous avons donc comme formule approchée :

$$v^2 = k\,\frac{p^n p'^{n'} - Kp''^{n''}}{Kp''^{n''}}.$$

Or, la formule proposée arbitrairement par Van't Hoff est :

$$v = k\,(p^n p'^{n'} - Kp''^{n''}).$$

Ce rapprochement nous montre immédiatement pourquoi la formule de Van't Hoff ne s'applique qu'aux environs de l'équilibre, où les variations sont faibles, et nous donne en même temps l'expression de la vraie formule approchée.

II. *Influence de la température.* — En différentiant par rapport à T l'expression de la vitesse, nous avons :

$$\frac{dv}{dT} = \sqrt{\frac{\gamma}{T} L \frac{p^n p'^{n'}}{K p''^{n''}}} - \frac{Q\sqrt{\gamma}}{2T^{\frac{3}{2}} \sqrt{L \frac{p^n p'^{n'}}{K p''^{n''}}}},$$

et nous arrivons finalement à poser :

$$v^2 = 2\gamma Q + e^{2vL\alpha T},$$

α étant une constante d'intégration.

Pour $v = 0$, nous trouvons l'équation de condition : $2\gamma Q + 1 = 0$, et nous pouvons écrire :

$$v^2 = e^{2vL\alpha T} - 1 = e^{2vL\frac{T}{T_0}} - 1,$$

T_0 étant la température absolue pour laquelle $v = 0$.

Cette formule nous montre théoriquement l'influence extrêmement rapide de l'élévation de température sur la vitesse de réaction, qui augmente d'autant plus vite qu'elle figure elle-même comme exposant dans l'exponentielle : on sait, expérimentalement, combien cette influence est énorme.

Intensité du « champ de forces » chimique. — Nous avons été amenés à poser l'équation de condition : $2\gamma = -\frac{1}{Q}$.

Vérifions cette expression, en formant : log. $N\sqrt{\frac{2\gamma}{m}}$, 2γ étant déterminé par cette expression en fonction de Q. [Q = — 1,6 calorie environ, pour 2HI, valeur un peu incertaine d'ailleurs]. Nous trouvons : log. $N\sqrt{\frac{2\gamma}{m}} = 3{,}0179$, valeur qui concorde suffisamment bien avec les chiffres trouvés précédemment.

Ainsi, nous pouvons poser cette loi, qui semble étrange au premier abord :

« L'intensité du « champ de forces » chimique est inversement proportionnelle à la quantité de chaleur dégagée dans la réaction, dans une transformation à volume constant. »

Mais si nous remarquons que c'est l'intensité du champ qui peut déterminer la « mise en branle » de la réaction, si elle possède une valeur assez élevée pour vaincre les « forces d'inertie » de la matière, qui sont quelque chose comme le « frottement » en mécanique, et qui peuvent très bien ne pas avoir la même valeur avant et pendant la réaction (le coefficient de frottement, par exemple, en mécanique, avant et pendant le glissement), nous voyons ainsi que ce sont les réactions les moins fortement thermiques qui doivent se faire spontanément, car elles possèdent une intensité de champ relativement élevée, tandis que les réactions fortement thermiques ont un champ de forces relativement faible, et doivent nécessiter l'intervention d'une énergie étrangère pour « se mettre en branle ».

L'expérience vérifie ces conclusions :

Le mélange des gaz tonnants de l'eau (+ 69 calories), loin de se combiner spontanément, nécessite une élévation considérable de température pour faire explosion : 845° (Hélier, C.-R. 122,566), et la réaction est même si difficile à « mettre en branle », qu'un faux équilibre chimique s'établit plutôt aux températures inférieures.

Le mélange hydrogène-chlore, déjà moins fortement thermique (+ 22 calories), n'exige plus qu'un rayon lumineux.



La réaction des vapeurs rutilantes, encore moins thermique, se fait spontanément à la lumière diffuse.

Le phénomène de l'éthérification, inappréciablement thermique, commence de lui-même.

Mais, ne l'oublions pas, ceci ne concerne que la « mise en branle » de la réaction, et celle-ci une fois commencée, le caractère thermique de la réaction influe sur la vitesse, qui sera d'autant plus grande que la constante d'équilibre sera elle-même plus petite, d'après notre expression de la vitesse. Or, nous avons : $LK_o = k_o - \frac{Q}{2T}$, et ainsi la vitesse sera d'autant plus grande que la réaction sera plus exothermique (1).

Comment agit une élévation de température sur l'intensité du champ de forces chimique ?

Nous avons :

$$Q_T = ne + n'e' - n''e'' + T(nc_m + n'c'_m - n''c''_m),$$

et nous avons trouvé, avec notre convention de sens de réaction, que le coefficient de T est toujours positif. Il suit de là que Q_T augmente avec l'élévation de température et, par conséquent, que l'intensité du « champ de forces » chimique diminue. Ce qui cause la « mise en branle » de la réaction, ce n'est donc pas un accroissement dans l'intensité du champ, mais ce sont plutôt des modifications apportées dans les forces d'inertie, c'est une diminution dans la valeur des « coefficients de frottement », si l'on peut s'exprimer ainsi, produites sous l'influence d'un autre champ d'énergie calorifique ou lumineuse : ainsi la création d'un champ magnétique par l'approche d'un aimant pourra faire se mettre à glisser une pièce de fer jusque-là immobile sur un plan incliné... Ici, augmentation de la vitesse de vibration des molécules de la matière, partant du nombre de chocs de ces molécules et de l'intensité de ces chocs, ce que l'on constate d'ailleurs par l'accroissement de pression avec la température...

Nous pouvons donc poser les lois suivantes :

La vitesse de réaction est d'autant plus grande que la réaction est elle-même accompagnée d'un plus grand effet thermique.

Exemples : C^2H^2, ($H^2 + O$), ($H^2 + Cl^2$),... et, au contraire, le phénomène de l'éthérification.

L'intensité du « champ de forces » chimique est inversement proportionnelle à l'effet thermique de la réaction à volume constant.

Et, comme conséquence :

Les réactions les plus faiblement thermiques sont celles qui ont le plus de chance de se faire spontanément (vapeurs rutilantes, éthérification,...), tandis que les réactions les plus fortement thermiques nécessitent l'intervention d'une énergie étrangère (chaleur, lumière, choc, ébranlement moléculaire, etc...) pour « se mettre en branle » [C^2H^2, gaz tonnants : ($H^2 + O$), ($H^2 + Cl^2$),... explosifs divers, etc...].

REMARQUE GÉNÉRALE.

L'influence de la pression sur l'Équilibre Chimique, la Force Électromotrice et la vitesse de réaction, se trouve exprimée dans les formules mêmes qui interprètent ces phénomènes, et on y voit très nettement le sens et l'effet de cette influence.

(1) Nous avons, en effet, d'ailleurs, posé : $v^2 = 2\gamma\varphi$. Or, la force électromotrice φ est proportionnelle à Q', chaleur manifestée et réellement mise en liberté dans la réaction.



Considérons, par exemple, un hydrate de gaz dissociable, comme l'hydrate de chlore : $Cl^2,8H^2O$. A température constante, la formule de l'équilibre chimique se réduit à $\frac{p^n p'^{n'}}{p''^{n''}} = c^{te}$, c'est-à-dire ici :

$$p_{Cl^2} \times p_{H^2O} = \text{constante},$$

avec un léger excès de cristaux d'hydrate.

Si nous faisons varier tant soit peu la tension de la vapeur d'eau, par la dissolution d'un sel dans le liquide, par exemple, il se produira une augmentation dans la tension du chlore beaucoup plus considérable que la diminution de tension produite dans la pression de la vapeur d'eau ; on le voit par cette formule même, et d'après les expériences de Le Chatelier ; en effet, à 0°, la tension de dissociation de l'hydrate de chlore varie de 40 mm de mercure pour un changement de 0,1 mm de mercure dans la tension de vapeur de la solution aqueuse au contact de laquelle il se dissocie. J'ai basé sur ces phénomènes une méthode de détermination des poids moléculaires, dont on voit par là-même la grande sensibilité (1), comme d'ailleurs également sur le point critique de dissociation totale de ces hydrates, ainsi que sur la température nécessaire à l'établissement d'une pression donnée, par exemple, le point de décomposition de l'hydrate de gaz sous la pression atmosphérique constante.

Georges Rosset.
Ingénieur des Arts et Manufactures.

SUR LA

TÉLÉPHONIE A GRANDE DISTANCE D'APRÈS LE SYSTÈME PUPIN (2)

La Société Siemens et Halske a fait, avec le concours de l'Administration allemande des Postes et Télégraphes, des expériences très complètes sur l'amélioration des transmissions téléphoniques par l'adjonction de bobines de self-inductance d'après le système Pupin. Ces expériences ont donné des résultats si favorables que la Société Siemens et Halske s'est décidée à acquérir les brevets Pupin.

(1) *Bull. Soc. Chim. de Paris*, 3e série, t. XXI, p. 361, 1899.

(2) Ces renseignements ont été publiés par F. Dolezalek et A. Ebeling dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift* du 4 décembre 1902, page 1059. Les travaux du professeur Pupin sont connus déjà de nos lecteurs par deux articles parus dans *L'Eclairage Electrique*, t. XXVII, p. CXXXVII, 15 juin 1901 et t. XXVIII, p. 168, 3 août 1901. Ils ont pour point de départ l'équation des télégraphistes qu'on peut établir de la façon suivante. Soient C, L, R la capacité, la résistance et la self-inductance par unité de longueur (kilomètre) d'un câble ; considérons un élément $\overline{dx}$ à une distance x de l'origine. Quand on passe de la tranche x à la tranche $x + dx$, la variation de potentiel est $-\frac{dv}{dx}\overline{dx}$ qui est égale, d'autre part à $\left(L\frac{dI}{dt} + RI\right)\overline{dx}$; d'où $L\frac{dI}{dt} + RI = -\frac{dv}{dx}$. L'élément $\overline{dx}$ constitue un condensateur ; il s'ensuit à travers le diélectrique du câble, un courant de charge ou de *déplacement* égal à $\frac{dq}{dt} = C\frac{dv}{dx}$ par unité de longueur ; d'autre part $-\frac{dI}{dx}$ représente la variation du courant dans le conducteur par unité de longueur, on a donc la condition $-\frac{dI}{dx} = \frac{dq}{dt} = C\frac{dv}{dt}$ et $-\frac{d^2I}{d^2x} = C\frac{d^2v}{dt\,dx}$. En différentiant l'équation $L\frac{dI}{dt} + RI = -\frac{dv}{dx}$ qui exprime la loi d'Ohm, on obtient

$$L\frac{d^2I}{dt^2} + R\frac{dI}{dt} = \frac{1}{C} \times \frac{d^2I}{dx^2}; \qquad (1)$$



Essais sur le câble Berlin-Potsdam. — Ce câble, posé il y a quelques années par la maison Siemens et Halske, a 32,5 km de longueur : il comprend 28 paires de conducteurs en

---

c'est l'équation connue des « télégraphistes ». M. Poincaré en a donné la solution générale dans son traité *Les oscillations électriques*, p. 183; MM. Picard et Boussinesq ont également résolu le problème dans toute sa généralité (*Lumière Electrique*, t. LI, p. 401, et *Comptes rendus*, décembre 1893, janvier et février 1894). M. Vaschy indique le moyen d'obtenir une intégrale particulière, (*Théorie de l'électricité*, p. 297); enfin, plus récemment, M. Maurice Leblanc a fait usage de cette équation différentielle pour déterminer la force électromotrice en chaque point d'une transmission à courant alternatif, (*L'Eclairage Electrique*, t. XXXIII, p. 284, 22 novembre 1902.)

Malgré cette profusion de références, le sujet a une importance telle que nous n'hésitons pas à reproduire intégralement, le mode d'exposition des auteurs allemands.

L'équation différentielle (1) ne s'applique qu'à un conducteur uniforme; si ce conducteur comprend un transmetteur et un récepteur, comme c'est toujours le cas, la formule qui donne I doit satisfaire à certaines conditions imposées par les constantes de l'appareil. Le transmetteur produit une force électromotrice alternative qui peut être représentée par $e = f(t) = Ee^{ipt}$, où $p = 2\pi n$, n étant la fréquence.

Soient L_0, R_0, C_0, les self-inductances, résistances et capacités du transmetteur; L_1, R_1, C_1, celles du récepteur; V_0 et V_{2l} les potentiels correspondant à $x = 0$ et $x = 2l$, aux bornes du transmetteur V_l et V'_l les potentiels correspondant à $x = l$, aux bornes du récepteur.

Enfin, désignons par U_0 et U_1 les différences de potentiel entre les armatures des condensateurs C_0 et C_1. On aura alors, comme plus haut, les conditions limites.

$$\left.\begin{aligned} &\left[L_0 \frac{dI}{dt} + R_0 I + U_0 + V_0 - V_{2l}\right]_{x=0} = f(t) \\ &\left[L_1 \frac{dI}{dt} + R_1 I + U_1 + V_l - V'_l\right]_{x=l} = 0 \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

La symétrie du système exige que l'on ait : $V_0 = -V_{2l}$, et $V_l = -V'_l$; et en général, en chaque point de la ligne, $V = -V'$. L'équation différentielle admet une solution de la forme suivante :

$$I = (A \cos m\xi + B \sin m\xi)\, e^{\lambda t}, \qquad (3)$$

où $\xi = l - x$. En calculant $\frac{dI}{dt}, \frac{d^2I}{dt^2}, \frac{d^2I}{dx^2}$ et portant dans (1) on trouve $-m^2 = \lambda C[\lambda L + R]$. Les constantes A, B, λ, se déterminent à l'aide des équations de condition (1) et (2).

Posons pour abréger

$$\lambda_0 = L_0 + \frac{1}{\lambda^2 C_0}, \qquad \lambda_1 = L_1 + \frac{1}{\lambda^2 C_1},$$
$$h_0 = \lambda C[\lambda\lambda_0 + R_0], \qquad h_1 = \lambda C(\lambda\lambda_1 + R_1), \qquad D_0 = \lambda CE.$$

Tous calculs faits, on trouve

$$A = \frac{2mD_0}{F}, \qquad B = \frac{h_1 D_0}{F},$$

où

$$F = [h_0 h_1 - 4m^2]\sin ml + 2m(h_0 + h_1)\cos ml \quad \text{et} \quad \lambda = ip.$$

La formule (3) devient alors :

$$I = (2m \cos m\xi + h_1 \sin m\xi)\, \frac{D_0 e^{\lambda t}}{F} \qquad (4)$$

C'est la solution générale de l'équation des télégraphistes; elle s'applique égelement aux ondulations libres ou forcées. Dans ce dernier cas, la force électromotrice agissante est la partie réelle de Ee^{ipt}, et l'intensité du courant, la partie réelle de (4). Introduisons, à la place de m, deux grandeurs qui jouent un rôle important dans toute cette théorie ; posons $-m^2 = -(\alpha + \beta i)^2 = ipC[ipL + R)$. En écrivant que les parties réelles et les coefficients de $i = \sqrt{-1}$ sont égaux dans les deux membres, on obtient deux équations qui fournissent les valeurs de α et β à savoir :

$$\alpha = \sqrt{\frac{pC}{2}\left[\sqrt{p^2L^2 + R^2} + pL\right]}; \qquad (5)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{pC}{2}\left[\sqrt{p^2L^2 + R^2} - pL\right]}; \qquad (6)$$



fil de cuivre de 1 mm de diamètre, avec isolant en papier. Il est souterrain et par suite armé et asphalté, sauf dans la traversée de Berlin, où il est simplement armé et posé dans les

---

on reconnaît ici les deux quantités qui, dans les articles précités, étaient désignées sous les noms de *constante de longueur d'onde* et *constante d'atténuation*. Le calcul de la partie réelle de I est pleine de difficultés, quand on suppose que le récepteur et le transmetteur possèdent une certaine impédance, ce qui a toujours lieu dans la pratique. Pupin a donné la solution pour le cas où l'impédance du récepteur est nulle ; alors on a :

$$h_1 = 0, \quad F = 4m^2 \sin ml + 2mh_0 \cos ml \qquad \text{et} \qquad I = \frac{D_0 e^{ipt} \cos m\xi}{-2m \sin ml + h_0 \cos ml}.$$

L'expression $\dfrac{D_0}{-2m \sin ml + h_0 \cos ml}$ représente l'amplitude initiale du courant, elle peut s'écrire :

$$\frac{D_0}{P + iQ} = \frac{D_0 e^{-ipt}}{\sqrt{P^2 + 2Q}},$$

et I devient :

$$I = \frac{D_0 e^{i(pt-\psi)} \cos ml}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = A\left[(e^{\beta\xi} + e^{-\beta\xi}) \sin(pt - \psi) \cos \alpha\xi + (e^{\beta\xi} - e^{-\beta\xi}) \cos(pt - \psi) \sin \alpha\xi + iX\right]$$

La partie réelle de I se réduit à :

$$I' = A\left[e^{\beta\xi} \sin(pt - \psi - \alpha\xi) + e^{-\beta\xi} \sin(pt - \psi - \alpha\xi\right].$$

Ce qu'il a lieu de considérer au récepteur, c'est l'intensité efficace :

$$I_{eff} = \left[\frac{1}{I_2} \int_0^{I_2} I'^2\, dt\right]^{\frac{1}{2}}.$$

Tous calculs faits, on a.

$$I_{eff} = \frac{A}{\sqrt{2}} \sqrt{e^{2\beta\xi} + e^{-2\beta\xi} + 2 \cos 2\alpha\xi}.$$

Soient I_0 et I_l les intensités efficaces au départ et à l'arrivée, on a :

$$I_l = \frac{2I_0}{\sqrt{e^{2\beta l} + e^{-2\beta l} + 2 \cos 2\alpha l}}.$$

La courbe représentative du courant se compose d'une chaînette et d'une sinusoïde. Lorsque β et l sont petits, c'est à dire lorsque la ligne est courte et n'offre que peu de résistance, les termes $e^{2\beta l}$ et $e^{-2\beta l}$ se réduisent à 1 et nous avons alors l'équation d'une onde stationnaire, dont la longueur se calcule au moyen de α par la relation $\lambda = \frac{2\pi}{\alpha}$: c'est pourquoi on appelle α la constante de longueur d'onde. Si la ligne est longue et produit une forte atténuation, on peut négliger les deux derniers termes devant le premier et le rapport entre les intensités efficaces au départ et à l'arrivée se réduit à $e^{\beta x}$, c'est à dire dépend de β ; d'où le nom de constante d'atténuation donnée à β.

De l'égalité (6), on déduit encore que β décroît lorsque L augmente ; le courant de l'arrivée croît en même temps que la self-inductance. Si celle-ci est telle qu'on puisse négliger R devant pL, on a $\beta = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}}$; cette expression ne contient plus la fréquence. Ainsi donc l'augmentation de la self-inductance diminue l'atténuation à peu près dans la même proportion pour tous les sons composant la voix, ou autrement dit elle supprime la distorsion ce qui est très avantageux pour la netteté de la transmission.

L'étude précédente s'applique à un conducteur dont la self-inductance est uniformément répartie sur toute sa longueur ; mais s'il s'agit, comme dans l'invention de Pupin, de sources d'inductance réparties en différents points, il faut écrire autant d'équations de conditions qu'il y a de sources. Pupin a traité complètement ce cas général par le calcul qui lui a permis d'énoncer le principe suivant : des bobines de self-inductance, groupées en des points déterminés, ne diminuent la constante d'atténuation qu'autant que leur espacement est une fraction de la longueur d'onde que le conducteur doit transmettre. Dans les articles déjà cités, on trouvera une expression plus complète de la condition d'équivalence entre conducteurs uniformes et conducteurs non uniformes. N. d. l. R.



conduites du réseau téléphonique commun. On prit 14 paires de conducteurs et on les équipa d'après le procédé Pupin ; les 14 autres paires furent maintenues dans leur état primitif. Par cet artifice la comparaison des deux systèmes devait être particulièrement instructive puisqu'elle portait sur deux réseaux identiques.

Il ne fallait pas songer à couper le câble en des points quelconques, mais bien s'astreindre à placer les bobines aux coupures naturelles, aux manchons de raccordement, par exemple, qui sont distants de 650 m. On choisit comme intervalle des bobines la distance de 1300 m, soit 2 intervalles de manchons; dans ces conditions le calcul indique qu'il faut leur donner comme résistance 4,1 ohms, aussi bien sur le câble d'aller que sur le câble de retour et comme self-inductance, 0,062 henry. La résistance du câble est ainsi de 23,5 ohms et la capacité mutuelle, de 0,037 microfarad par kilomètre. En appliquant la formule simplifiée $\beta = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}}$, on trouve que la constante d'atténuation est 0,00904.

La self-inductance des paires non équipées, mesurée à l'aide d'un courant alternatif à la fréquence 900 a été trouvée égale à 0,0003 henry par kilomètre. La constante d'atténuation est, dans ce cas, 0,043 ([1]). Ainsi l'introduction des bobines augmente à peu près 200 fois la self-inductance et rend la constante d'atténuation cinq fois plus petite. Il devait donc en résulter une amélioration considérable dans la transmission de la parole, comme l'expérience l'a vérifié. Avec la ligne équipée, la voix était encore parfaitement claire à 10 m du pavillon, tandis que, pour la ligne ordinaire, la limite de perception du son était au maximum à 0,5 m du récepteur. Dans tous les essais on employait comme transmetteur et récepteur le microtéléphone Siemens du type des Postes et Télégraphes avec une batterie de deux éléments Hellesen.

En couplant en série 3 des paires équipées et les comparant avec 3 paires non équipées, c'est-à-dire en comparant 97 kilomètres de ligne équipée à une longueur identique de ligne ordinaire, la différence était encore plus frappante. Tandis qu'avec la ligne non équipée on se trouvait bien nettement à la limite où le son est à peine perceptible, on entendait au contraire très distinctement sur la ligne équipée, même à quelque distance de l'appareil et bien mieux que sur une longueur de 32,5 km de ligne ordinaire. Ces résultats sont du reste conformes aux prévisions théoriques.

Avec 5 longueurs mises en série, c'est-à-dire avec des lignes de 162,5 km, on n'entendait plus rien avec la ligne non équipée, et très distinctement encore avec la ligne équipée. On peut dire qu'une longueur, soit 32,5 km de ligne ordinaire est sensiblement équivalente, comme transmission téléphonique, à 5 longueurs, soit 162,5 km, de ligne équipée. Une

([1]) En réalité, les auteurs donnent pour la première valeur 0,0106, et pour la seconde 0,06. Cette dernière divergence s'explique facilement, parce que les auteurs, au lieu d'employer la formule complète

$$\beta = \sqrt{\frac{pC}{2}\left[\sqrt{p^2L^2 + R^2} - pL,\right]},$$

ont négligé la réactance pL devant la résistance R, d'où

$$\beta = \sqrt{\frac{pCR}{2}} = 0{,}063.$$

Notre calcul, au contraire, a porté sur la valeur exacte de β. La non concordance des deux premiers résultats ne peut qu'être attribuée à une erreur dans les opérations, comme il est facile de s'en assurer en prenant la formule simplifiée

$$\beta = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}}.$$

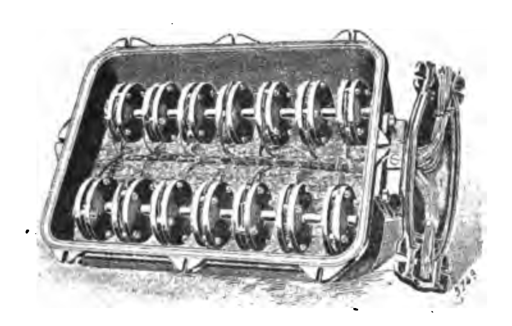
N. d. l. R.



ligne équipée composée de 13 longueurs, soit 422,5 km transmettait encore la parole d'une façon satisfaisante, mais le son était très faible.

Enfin, la comparaison a porté sur le câble souterrain équipé et le réseau aérien constitué par du fil de bronze de 2 mm de diamètre qui relie Berlin à Potsdam et a la même longueur que le premier, soit 32,5 km. L'intensité du son transmis était à peu près la même dans les deux cas; mais on remarqua que les conditions atmosphériques influaient sur le résultat; par temps sec, la ligne aérienne était meilleure; par temps humide ou pluvieux, c'est le câble souterrain qui transmettait le mieux. Un câble équipé d'après le système Pupin est donc équivalent à une ligne aérienne de même longueur, mais dont les conducteurs ont une section 4 fois plus grande.

La disposition adoptée pour intercaler les 14 bobines était des plus simples et est représentée en figure 1. Les bobines, de forme annulaire, sont groupées dans une boîte en fonte dans le genre des boîtes de distribution des câbles d'éclairage, et toutes les bornes des



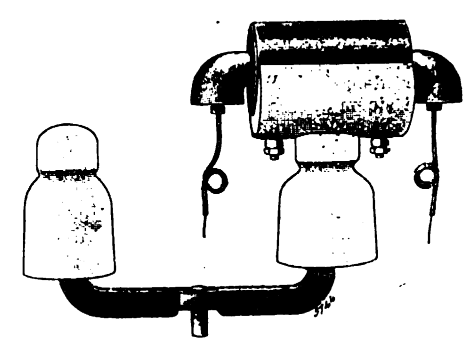


Fig. 1 et 2.

bobines sont conduites à un manchon de dérivation à T qui remplace le manchon de jonction ordinaire du câble téléphonique. C'est dans ce manchon que sont faites les connexions. Les boîtes et les manchons sont enduits intérieurement de matière isolante.

Essais sur le réseau aérien double Berlin-Magdebourg. — Un des réseaux est constitué par du fil de bronze de 2 mm de diamètre; son développement est de 150 km; il y a six bureaux intermédiaires qui peuvent communiquer entre eux et avec les points terminus. Le deuxième réseau, en fil de bronze de 3 mm de diamètre, établit des relations directes entre Berlin et Magdebourg. On équipa le premier, naturellement le moins favorable à la transmission, suivant le système Pupin, mais l'autorisation ne fut accordée qu'à la condition expresse que le service ne serait en rien troublé par ces installations. On plaça tous les 4 km des bobines de 6 ohms et 0,08 henry environ. La ligne ainsi équipée donna de bien meilleurs résultats que la ligne directe avec conducteurs de 3 mm de diamètre. Le montage des bobines est représenté en figure 2. Aux endroits choisis, l'isolateur ordinaire est remplacé par un isolateur double, dont une des cloches porte la bobine.

Essais quantitatifs. — Les essais relatés ci-dessus sont purement qualitatifs; il était intéressant de recueillir également quelques données quantitatives sur la diminution de l'atténuation qui résulte des bobines de self-inductance. On soumit donc les circuits inductifs et non inductifs à des courants alternatifs de quelques milliampères, dont la fréquence était 900 ou 400; ce sont à peu près les conditions des lignes téléphoniques. Ces courants étaient mesurés, à la station réceptrice, au moyen d'un galvanomètre à miroir très sensible. Le cas théorique où on s'est placé, à savoir que le transmetteur seul possède une certaine impédance, tandis que celle du récepteur est nulle, est pratiquement difficile à réaliser,

parce que les ampèremètres alternatifs sensibles ont tous un coefficient de self-inductance qui n'est pas négligeable. On s'est donc écarté de la voie théorique pour se rapprocher des conditions ordinaires, en choisissant un récepteur (électrodynamomètre) dont les constantes étaient celles d'un poste microphonique : résistance 400 ohms; coefficient de self-inductance 0,4 henry. Les courbes de la figure 3 résument les nombres obtenus avec 900 périodes et 3,38 milliampères. On a porté en abcisses les distances exprimées en kilomètres et en ordonnées, les intensités mesurées au poste récepteur et exprimées en milliampères. Les longueurs dépassant 32,5 km sont obtenues par la mise en série de plusieurs paires de conducteurs du câble ; ce qui est permis, puisqu'on a constaté qu'une paire n'exerce pas d'induction sensible sur les autres.

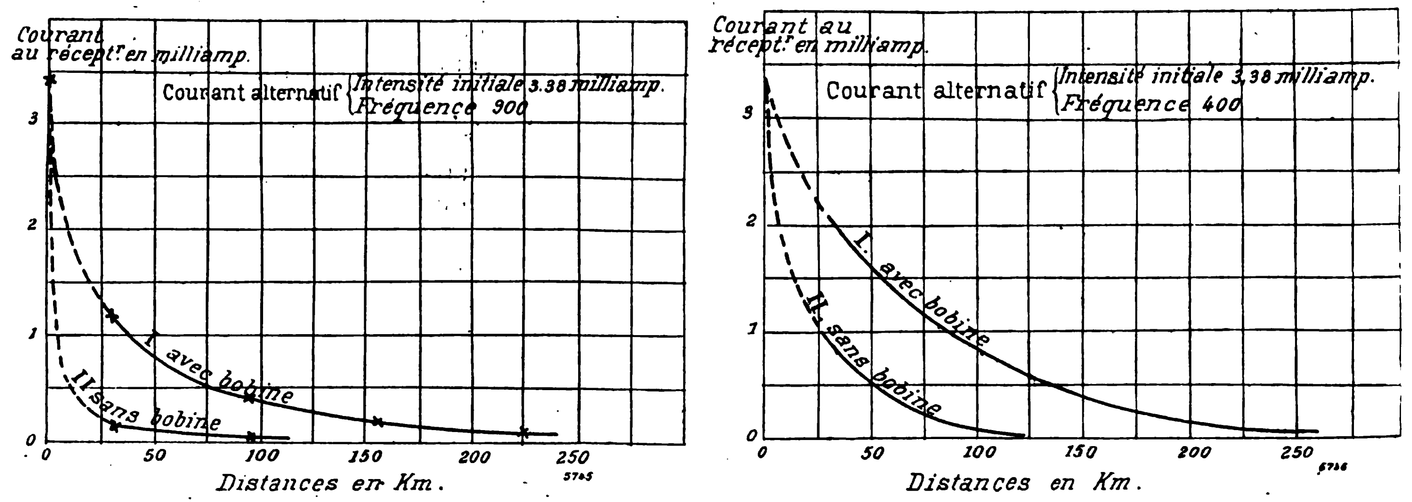


Fig. 3 et 4.

Les courbes montrent très bien la forme exponentielle indiquée par la théorie. Ainsi, pour une seule longueur, 32,5 km, le courant à l'arrivée est de 1,2 milliampère pour le câble Pupin et 0,17 milliampère pour la ligne ordinaire, c'est-à-dire qu'il est sept fois plus grand dans le premier cas que dans le second; si la distance augmente, le calcul montre que l'amélioration relative doit croître également, ce que l'expérience confirme encore ; en effet pour une longueur triple, 97,5 km, le courant au récepteur est 48 fois plus fort pour le câble Pupin que pour le câble non équipé. L'atténuation de celui-ci est la même que celle d'un câble Pupin 5 fois plus long.

Les courbes de la figure 4 ont été obtenues avec un courant alternatif d'une fréquence 400, mais dont l'intensité au départ est encore 3,38 milliampères. La différence entre les deux systèmes est toujours considérable, mais moindre que dans l'essai ci-dessus, parce que l'atténuation sur une ligne non équipée diminue avec la fréquence. Cette influence de la fréquence ressort également de la comparaison des figures 3 et 4. Quand on passe de 400 à 900, l'atténuation augmente dans un câble ordinaire, dans le rapport de 1 à 6 et dans le rapport de 1 à 1,6 seulement dans le câble de Pupin.

2. Réseau aérien Berlin-Magdebourg. — Les essais faits avec les mêmes appareils et un courant alternatif de 900 périodes et une intensité de 3,38 milliampères ont donné les résultats suivants :

	Intensité à l'arrivée.
150 km du fil de 2 mm sans bobines	0,53 milliampères.
150 » avec bobines	2,20 »
180 km du fil de 3 mm sans bobines	0,84 »



Pendant ces essais, l'isolation des deux lignes était d'environ 25 mégohms par kilomètre. Des expériences spéciales entreprises pour étudier l'influence de l'isolement, on peut conclure que le conducteur de Pupin de 2 mm de diamètre est beaucoup plus sensible à un manque d'isolement que le conducteur ordinaire de 3 mm; mais qu'il reste toujours bien supérieur au dernier pour la transmission téléphonique alors même que l'isolation tomberait à 1 mégohm par kilomètre.

En résumé, l'application du système Pupin permet de réduire au quart le poids du cuivre des lignes aériennes, ou, à poids de cuivre égal, on obtient une transmission 4 fois plus longue.

Influence de l'espacement des bobines. — La base de l'invention de M. Pupin est d'avoir reconnu que, pour diminuer l'atténuation utilement, il faut que la distance entre deux bobines consécutives soit une fraction de la longueur d'onde à transmettre Dès que les bobines sont trop éloignées, il y a réflexion et l'atténuation devient bientôt plus considérable que dans une ligne ordinaire. Les essais faits pour confirmer la théorie ont eu lieu sur un câble isolé au papier d'une longueur totale de 28 km et formé de fils de cuivre de 0,8 mm de diamètre; les fréquences ont été 980, 600 et 400. La self-inductance de la ligne était de 0,075 henry et sa capacité 0,04 microfarad par kilomètre; on l'équipa avec des bobines de 0,11 henry et on en intercalait 20 dans le conducteur d'aller et 20 dans celui de retour, en les groupant successivement en 20, 10, 5 et 2 points, de sorte que l'intervalle des bobines, pour une même inductance totale, pouvait varier entre 1,4 et 10 km. L'adjonction des bobines porte la valeur de la self-inductance de 0,075 henry à $0,075 + 0,08 = 0,155$ henry par kilomètre. Le calcul de longueur d'onde au moyen de la relation $\lambda = \frac{2\pi}{\alpha} = \frac{2\pi}{p\sqrt{CL}}$ [1] donne

12,9 km pour	980	périodes.
21,0 »	600	»
31,5 »	400	»

Le courant au départ a été de 3 milliampères dans toutes ces expériences. La figure 5 indique les variations subies par cette intensité initiale en fonction de l'espacement des bobines pour les trois fréquences, la station réceptrice étant à 28 km. On voit que cette intensité diminue rapidement dès que l'intervalle entre deux bobines consécutives dépasse une certaine valeur, et cela d'autant plus que la fréquence est plus grande. Quand la distance entre deux bobines atteint 6 km, il y a réflexion complète pour le courant de 980 périodes et même avec les téléphones les plus sensibles, on n'entend plus le moindre son au bout du câble. Avec des courants de 600 et 400 périodes, l'étouffement est complet avec des bobines écartées de 8 et 10 km. Conformément à la théorie, lorsque la distance des

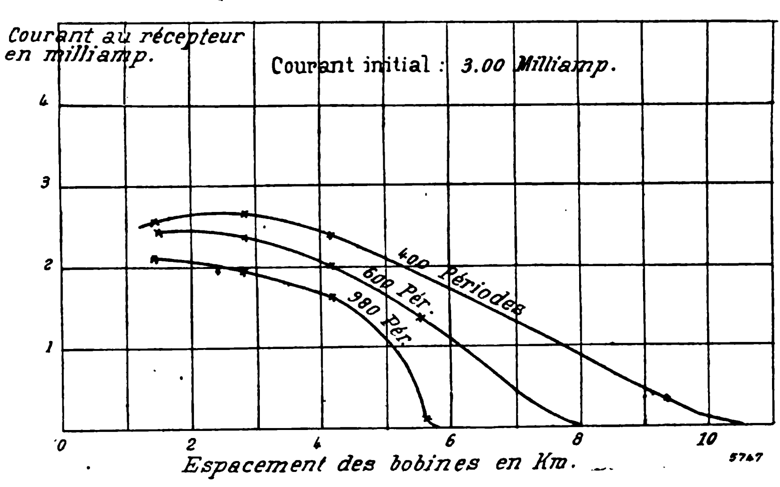


Fig. 5.

(1) La formule $\alpha = p\sqrt{CL}$ se déduit de la formule générale qui donne la constante de longueur d'onde en y supposant R très petit ou nul.



bobines augmente, les sons des différentes périodes sont amortis l'un après l'autre. Si on représente le courant au reçu de la ligne en fonction du nombre des bobines par longueur d'onde, on trouve la courbe donnée par la figure 6. Quelle que soit la fréquence, l'intensité à l'arrivée est réduite sensiblement à zéro, lorsque le nombre de bobines par longueur d'onde est compris entre 2 et 6. On trouve donc que 2 bobines par longueur d'onde constituent une limite inférieure absolue, au-dessous de laquelle les courants de toute fréquence sont amortis, rendant ainsi impossible une transmission téléphonique. Ces essais de conversation sur des lignes munies de bobines symétriquement distribuées sont très curieux. Quand la self-inductance est répartie conformément à ce que veut la théorie, la parole se transmet avec une grande netteté à cause de l'atténuation que subissent également toutes les ondes; ou autrement dit, il n'y a plus de distorsion; au contraire, si les bobines sont trop espacées, l'oreille ne perçoit qu'un bruit confus.

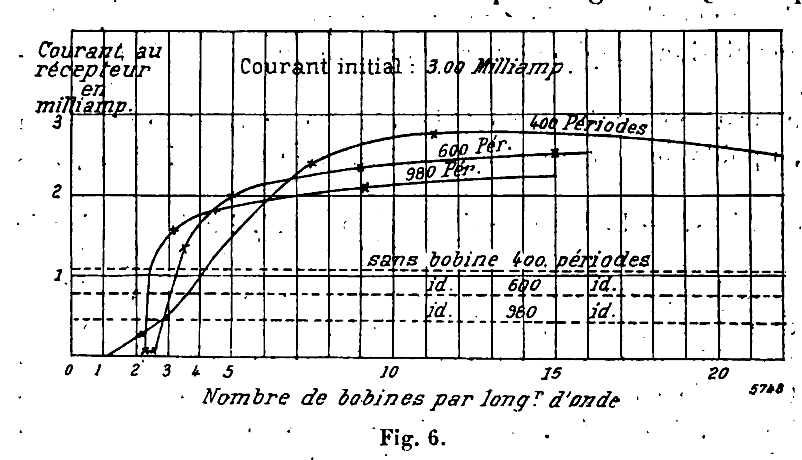


Fig. 6.

Application de la théorie. — En intégrant l'équation différentielle de la propagation de l'onde, on est arrivé à la relation :

$$I_l = \frac{2I_0}{\sqrt{e^{2\beta l} + e^{-2\beta l} + 2\cos 2\alpha l}}$$

I_0 et I_l courants transmis et reçus;
α, β, constantes de longueur d'onde et d'atténuation;
l distance des 2 postes.

Cette formule n'est pas applicable aux mesures relatées ci-dessus, car elle a été établie en supposant l'impédance du récepteur nulle. Cependant pour vérifier la théorie, au moins approximativement, on a recommencé un certain nombre d'expériences sur le câble de 97 km de longueur équipé d'après le système Pupin, en faisant varier l'impédance du récepteur. Le courant utilisé était caractérisé par les constantes suivantes : intensité initiale, 3,34 milliampères; fréquence, 900.

On a trouvé :

Impédance.	Courant final.
2 127	0,481
2 540	0,398
4 040	0,278

En cherchant par interpolation la valeur de I_l correspondant à une impédance nulle, on a trouvé qu'elle doit être comprise entre 1,2 et 1,7 milliampère. En faisant dans la formule ci-dessus I_0 égal à 3,35 milliampères; ξ égal à 97 et substituant à α et β leurs valeurs données par les formules rappelées plus haut, on obtient $I_l = 1{,}45$ milliampère, nombre qui concorde assez bien avec ceux donnés par interpolation.

L'ensemble de ces expériences démontre que l'emploi des bobines d'inductance, lorsqu'il est fait conformément à la théorie de Pupin, donne effectivement des résultats d'accord



avec le calcul et permet ainsi d'espérer que la téléphonie à longue distance prendra un essor nouveau et pourra s'étendre aux communications interocéaniques. Il ne faut pas se dissimuler qu'on rencontrera, dans ce cas, de grandes difficultés techniques à poser un câble sous-marin muni de bobines. Par contre, il paraît certain que les traversées de faible profondeur, telles que celles de la mer du Nord, de la mer Baltique, etc., ne présenteront pas d'obstacles insurmontables; et l'on peut prévoir à brève échéance l'établissement de communications téléphoniques directes entre Paris-Londres; Berlin-Londres; Berlin-Copenhague et Stockholm.

F. DOLEZALEK et A. EBELING.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

APPAREILLAGE

***Sur les dimensions à donner aux surfaces de contact et aux vis de serrage des appareils électriques*, par Rud. Hellmund.** *Zeitschrift für Elektrotechnik*, p. 497 et 511, 12 et 19 octobre 1902.

L'auteur s'est proposé d'établir les dimensions les plus favorables à donner aux surfaces de contact des interrupteurs, démarreurs, régulateurs que l'on rencontre le plus fréquemment dans les applications industrielles. De ses expériences, il lui semble impossible de tirer une conclusion un peu générale; les pertes d'énergie sous forme de chaleur varient, en effet, dans de larges limites avec la nature des métaux et la forme des surfaces en contact. Ses résultats diffèrent beaucoup de ceux qu'ont donnés, jusqu'ici, la plupart des ouvrages techniques.

1. *Généralités.* — Conformément aux prescriptions édictées par les diverses sociétés d'électriciens, on suppose la température, aux contacts, inférieure à 70°C., c'est-à-dire ne dépassant pas de plus de 50°C. la température ambiante pour les appareils installés dans la salle des machines; quant aux autres, il ne faut pas que leur échauffement soit capable de produire la fusion d'un morceau de paraffine qui fond à 45°C. : l'excès de température ne doit donc jamais dépasser 25°C. Cet excès de température T est directement proportionnel à la perte d'énergie W et inversement proportionnel à la surface offerte au refroidissement Σ, de sorte qu'on peut écrire : $T = \frac{W}{\Sigma} \times C_m$ (1); C_m est un coefficient qui dépend de l'aptitude au refroidissement du métal employé. Cette expression générale dispense d'étudier à part les pertes de chaleur par rayonnement et conductibilité qui conduiraient à des développements trop longs et sans intérêt. Or, $W = I^2R$; I intensité du courant; R, résistance de contact. Il faut distinguer la surface de contact apparente S et la surface de contact effective s en posant $\frac{s}{S} = \sigma$. Soit R_1 la résistance par unité de surface (mm²), on a : $R = \frac{R_1}{\sigma S}$, $W = \frac{I^2R_1}{\sigma S}$. La surface de refroidissement Σ, pour un appareil bien calculé, croît proportionnellement à S, d'où $\frac{\Sigma}{S} = C_k$; et en substituant dans (1) on arrive à $T = \frac{I^2R_1}{\sigma S^2 C_k} C_m$. (2); enfin soit c la densité de courant ou nombre d'ampères par mm² : $c = \frac{I}{S}$. En remplaçant $\frac{I}{S}$ par sa valeur dans (2), on obtient : $c = \sqrt{\frac{T\sigma C_k}{R_1 C_m}}$ (3). Si on y fait $T = 50°$ ou 25°, on en tire les maxima de c. L'auteur a reconnu qu'en posant $\frac{C_k}{C_m} = C_a$, C_a coefficient de refroidissement, on arrivait à une formule beaucoup plus pratique : $c = \sqrt{\frac{T\sigma C_a}{R_1}}$ (4) [1].

[1] Cette formule a servi pour toutes les expériences et il est intéressant d'étudier l'influence des divers coefficients qui y entrent.

R_1, résistance de contact par mm², dépend de la nature des métaux en contact; or ceux-ci sont presque toujours le cuivre et le laiton; les variations de ce fait sont donc peu importantes. Quand la charge croît, R_1 diminue;

Dans tout ce qui va suivre, on suppose l'excès de température T toujours égal à 50° afin de rendre plus facile comparaison entre les résultats obtenus avec des appareils de diverses provenances d'une et application courante.

---

mais c'est surtout la pression qui a une grande influence sur la résistance au contact. Pour une série d'interrupteurs de même construction, l'auteur a trouvé des valeurs oscillant entre 0,006 et 0,06 ohm; les limites minima et maxima ont été 0,0045 et 0,07 ohm.

Le coefficient de refroidissement C_m varie avec la nature du métal et l'état de la surface suivant des lois connues. Par exemple, le pouvoir émissif du laiton est 1,5 fois plus grand que celui du cuivre.

Il est bien difficile d'expliquer le rôle de C_k, car on ne peut pas dire dans quelle proportion chaque partie de l'appareil participe au refroidissement. Cette quantité n'est pas davantage accessible à l'expérience. On tourne la difficulté en posant $C_a = \frac{C_k}{C_m}$ C_a, est le coefficient de refroidissement qui, introduit dans la formule (3) donne, $c = \sqrt{\frac{T\sigma C_a}{R_1}}$ (4). L'expérience a donné pour C_a des valeurs comprises entre 0,00006 et 0,004.

La détermination du rapport σ de la surface de contact effective à la surface de contact apparente présente aussi beaucoup d'incertitude. Avec des balais en feuilles minces, bien soignés, on trouve souvent pour σ des valeurs voisines de 0,95; au contraire, dans les interrupteurs où les surfaces de contact sont constituées par des blocs massifs, σ dépasse rarement 0,60. En général, les articles bien travaillés ont une supériorité marquée sur les articles fabriqués en série; pour ceux-ci, le coefficient σ peut tomber jusqu'à 0,2. Ces remarques s'appliquent à des appareils à l'état neuf; il est évident que si nous les considérons dans leurs conditions normales de fonctionnement, nous rencontrerons des différences énormes. Aussi l'auteur conseille de prendre pour σ la moitié de sa valeur à l'état neuf quand la rupture ou la fermeture du circuit se font sans étincelle; dans le cas contraire, la diminution de σ peut aller jusqu'au quart de sa valeur primitive, soit 0,05 si nous supposons la valeur primitive égale à 0,2, comme dans l'exemple cité plus haut. Les étincelles brûlent les parties en contact ou les fondent, et, après refroidissement, il se forme une multitude de granulations qui ne permettent pas une évaluation bien exacte de la surface de contact effective.

L'auteur donne les valeurs de c qui correspondent aux deux cas extrêmes qu'il a rencontrés pour $T = 50°$:

$$c_{\text{min}} = \sqrt{\frac{50 \times 0,05 \times 0,00006}{0,07}} = 0,046 \text{ ampère : mm}^2;$$

$$c_{\text{max.}} = \sqrt{\frac{50 \times 0,95 \times 0,004}{0,0045}} = 6,5 \text{ ampères : mm}^2.$$

L'écart est considérable et, en réalité, se rencontre assez rarement dans la pratique, parce que les contacts sont l'objet de visites minutieuses; une série d'essais exécutés sur des appareils de différentes provenances ont fourni les chiffres plus probables de 0,1 et 5 ampères par mm².

R_1 se déduit de l'intensité et de la chute de tension au contact; on a éliminé la perturbation résultant de la pression en la prenant constante et aussi voisine que possible des conditions normales. Il est facile de comprendre que R_1 doit devenir très grand pour une pression très-faible. Notons que les balais largement dimensionnés demandent à être pressés le plus fortement; ce sont eux aussi qui offrent les valeurs les plus défavorables pour σ. Sa détermination est affaire d'appréciation de la part de l'expérimentateur et elle dépend beaucoup du soin apporté dans la construction de l'appareil.

Quant à C_a, on le tire de la formule (4) : $C_a = \frac{R_1 c^2}{T.\sigma}$.

Les mesures ont lieu sous charge; celle-ci est choisie de telle sorte que l'excès de température soit toujours supérieure à 30°; on se met ainsi à l'abri des inexactitudes inévitables qui peuvent influencer considérablement les résultats. Pour contrôler T, c'est-à-dire, pour s'assurer que la température mesurée est bien due aux pertes par contact, on prend la température des parties voisines soumises au courant. Si le nombre trouvé dans ce dernier cas est supérieur au premier, il faut en conclure qu'il y a eu transport de chaleur par conductibilité aux points considérés. Quand la surface de contact est petite, une partie notable de la chaleur est absorbée par le thermomètre et son enveloppe d'ouate. On laisse donc passer le courant pendant tout le temps de la mesure qu'on prolonge jusqu'à ce qu'un état d'équilibre se soit établi entre les différents corps en présence. L'auteur recommande l'emploi de thermomètres à très petit réservoir et termine cet exposé des difficultés expérimentales qu'il a rencontrées en remarquant que les températures obtenues en appliquant le thermomètre sur une partie libre de la surface de contact ne concordent pas avec celles qui existent sous les balais.

Essai 1. — Il a été fait sur des balais tels que ceux représentés par la figure 1, constitués par des lames de cuivre de 0,5 mm d'épaisseur. On a trouvé

	Min.	Max.	Moy.	
R_1	0,01	0,045	0,022	ohm : mm²
C_a	0,001	0,002	0,0012	—
σ	0,60	0,95	0,80	—

En introduisant les valeurs moyennes dans la formule (4), on trouve que, pour des balais neufs, la densité de courant admissible est

$$c = \sqrt{\frac{50 \times 0,8 \times 0,0012}{0,022}} = 1,48 \text{ amp. par mm}^2.$$

Avec des balais sans étincelle, on réduit σ de moitié, $c = 1,05$ ampère par millimètre carré et s'il y a des étincelles, on prend $\sigma = \frac{0,8}{4}$, ce



qui donne $c = 0,74$ ampère par millimètre carré On construit souvent les balais en deux parties

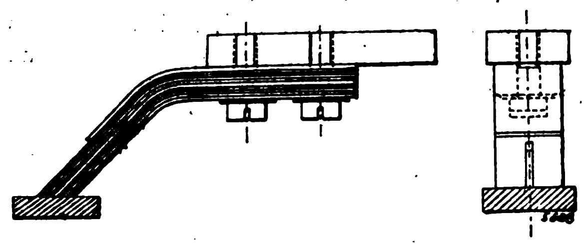


Fig. 1.

dont une seulement est exposée aux étincelles; il suffit alors de faire $\sigma = \frac{0,8}{3}$; d'où $c = 0,85$ ampère par millimètre carré.

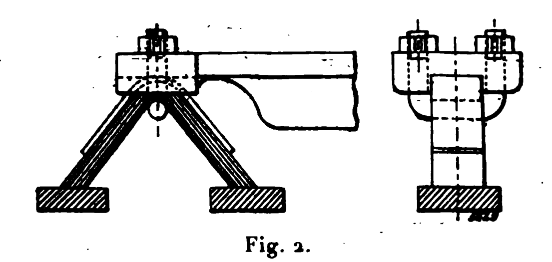


Fig. 2.

Essai 2. — La figure 2 représente le type de balais plus spécialement employé pour démarreurs, contrôleurs, etc.

	Min.	Max.	Moy.
R_1	0,006	0,013	0,010 ohm : mm²
C_a	0,001	0,002	0,0013 —
σ	0,5	0,8	0,6 —
c	2 ampères : mm² pour des balais neufs		
Id	1,4	—	sans étincelles $\sigma = \frac{0,6}{2}$
Id	1,0	—	avec étincelles $\sigma = \frac{0,6}{4}$

La résistance spécifique s'est révélée beaucoup plus faible que dans l'essai 1 parce que :

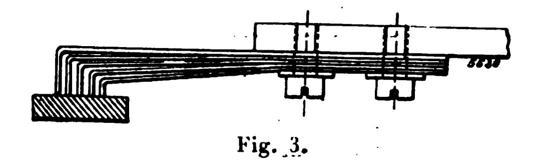


Fig. 3.

1° les feuilles de cuivre étaient plus minces; 2° la pression plus forte.

Essai 3. — Le modèle de la figure 3 où les lames ressort sont écartées les unes des autres et d'une épaisseur variant entre 0,8 et 1 mm donne des valeurs très avantageuses pour C_a, c'est-à-dire que Σ, surface libre, est beaucoup plus grande; au contraire, la longueur des

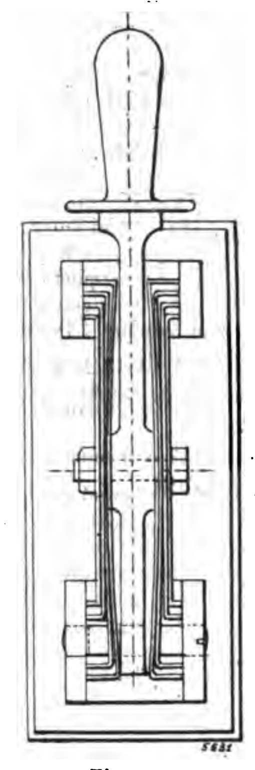


Fig. 4.

lames qui ne permet pas d'atteindre de fortes pressions a donné des résistances de contact particulièrement élevées

	Min.	Max.	Moy.
R_1	0,006	0,06	0,045 ohm : mm²
C_a	0,002	0,0039	0,00275 —
σ	0,5	0,8	0,7

$$c = \sqrt{\frac{50 \times 0,7 \times 0,00275}{0,045}} = 1,46 \text{ amp.: mm}^2$$ pour des balais neufs.

$$c = \sqrt{\frac{50 \times 0,35 \times 0,00275}{0,045}} = 1,035 \text{ amp.: mm}^2$$ pour balais sans étincelles $\sigma = \frac{0,7}{2}$

$$c = \sqrt{\frac{50 \times 0,175 \times 0,00275}{0,045}} = 0,73 \text{ amp.: mm}^2$$ pour balais avec étincelles $\sigma = \frac{0,7}{4}$

Essai 4. — La forme figure 4 a donné des résultats assez peu satisfaisants.

	Min.	Max.	Moy.
R_1	0,01	0,07	0,05
C_a	0,00075	0,0015	0,001
σ	0,5	0,8	0,7

$$c = \sqrt{\frac{50 \times 0{,}7 \times 0{,}001}{0{,}05}} = 0{,}85 \text{ amp. : mm}^2$$

$$c = \sqrt{\frac{50 \times 0{,}35 \times 0{,}001}{0{,}05}} = 0{,}59 \text{ amp.: mm}^2 \text{ pour balais sans étincelles } \sigma = \frac{0{,}7}{2}$$

$$c = \sqrt{\frac{50 \times 0{,}233 \times 0{,}001}{0{,}05}} = 0{,}483 \text{ amp. : mm}^2 \text{ pour balais avec étincelles } \sigma = \frac{0{,}7}{3}$$

On prend ici le cas le plus favorable correspondant à des balais en deux parties dont l'une a déjà quitté le contact, tandis que l'autre reçoit tout le courant.

Essai 5. — C'est sans contredit la forme figure 5 qui a conduit aux chiffres les plus défavorables pour C_a; on voit, en effet, que Σ, dans ce cas est très petit, même remarque pour σ. La résistance de contact a fourni des résultats excellents il est vrai, mais insuffisants pour compenser l'influence désastreuse des deux premiers coefficients :

	Min.	Max.	Moy.
R_1	0,0045	0,0065	0,0055 ohm : mm²
C_a	0,0006	0,00009	0,00007 —
σ	0,3	0,5	0,4

$c = 0{,}505$ amp. : mm² pour interrupteur neuf

$c = 0{,}357$ — . . . . sans étincelles $\sigma = \frac{0{,}4}{2}$

$c = 0{,}29$ — . . . . avec étincelles $\sigma = \frac{0{,}4}{3}$

Essai 6. — Le type d'interrupteur de la figure 6, fabriqué par séries, a donné les résultats moyens suivants : $R_1 = 0{,}0085$ ohm : mm²; $C_a = 0{,}000085$; $\sigma = 0{,}2$; d'où $c = 0{,}316$ ampère : mm² ; $c = 0{,}22$ ampère : mm² sans étincelles ; $c = 0{,}156$ ampère : mm² avec étincelles.

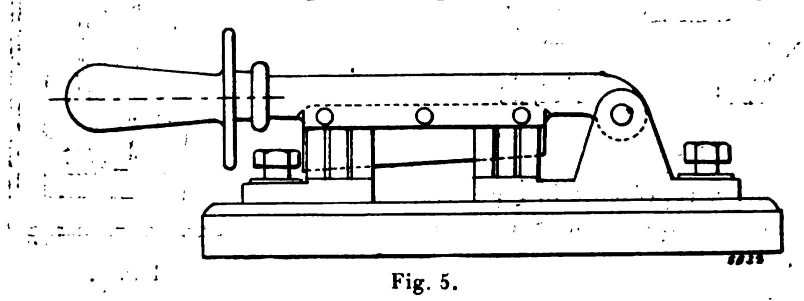


Fig. 5.

Essai 7. — Ce dernier essai qui a été fait sur des interrupteurs de Maschinenfabrik Esslingen est certainement le meilleur de tous. Les balais de ces interrupteurs (fig. 7) sont formés de feuilles de laiton étirées et fortement pressées par des lames d'acier.

L'auteur indique les quelques nombres suivants : $R_1 = 0{,}015$ ohm : mm² ; $C_a = 0{,}002$; $\sigma = 0{,}95$; $c = 2{,}45$ ampères : mm² pour interrupteur neuf ; $c = 1{,}78$ ampère : mm² pour interrupteur sans étincelles. Ces feuilles minces ne sont pas appliquées à la construction d'interrupteurs exposés à de fortes étincelles.

Conclusion. — Les seules conclusions pratiques à tirer de cette étude sont que les balais feuilletés conviennent surtout aux contacts sans étincelles ; dans le cas contraire, il vaut mieux recourir aux appareils munis de pièces massives. Les grandes valeurs de C_a, c'est-à-dire celles qui permettent une densité de courant considérable, ne sont pas celles qui conduisent

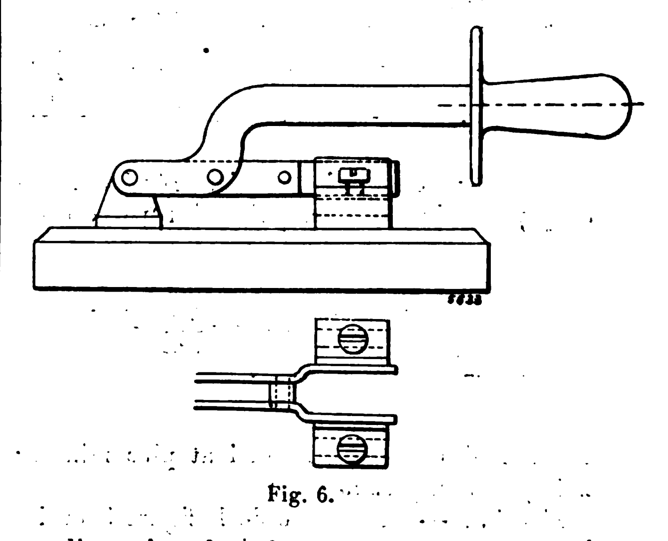


Fig. 6.

aux dimensions les plus avantageuses à donner aux interrupteurs ; car l'accroissement de C_a ne

s'obtient qu'au prix d'une grande dépense de matière. En se reportant aux formules du début, on voit que la perte d'énergie provenant

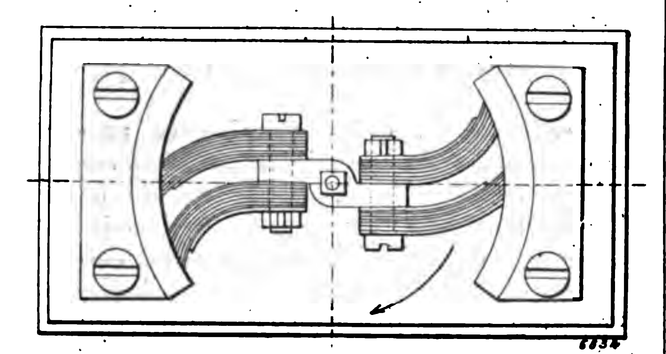


Fig. 7.

de mauvais contacts est donnée en pour 100 de la puissance totale, par la relation :

$$w = \frac{cR_1}{\sigma E} \times 100, \text{ E étant la tension du réseau.}$$

Le tableau suivant résume ces pertes pour E = 100 volts et E = 2 volts, en se plaçant dans le cas le plus défavorable. On remarquera que, pour les tensions élevées, ces pertes sont presque négligeables pour le calcul des interrupteurs, mais prennent une importance énorme aux basses tensions.

TYPE d'interrupteur.	PERTE AU CONTACT EN POUR CENT de la puissance totale	
	100 v.	2 v.
1	0,0814	4,07
2	0,0667	3,34
3	0,187	9,35
4	0,1035	5,18
5	0,0120	0,60
6	0,0265	1,33
7	0,0772	3,87

Vis et écrous de serrage pour connexions électriques. — Les dimensions à donner à ces accessoires sont réglées par les mêmes considérations que celles que nous avons appliquées aux surfaces de contact. On peut poser $w = \frac{I^2 R_1}{d^2}$, d diamètre de l'écrou, et $\Sigma = C_k d^2$; d'où la formule $T = \frac{I^2 R_1}{d^2 C_k d^2} C_m$. Il est plus simple de transformer cette expression de la manière suivante ; soit $C = \frac{R_1 C}{C}$, alors $T = \frac{I^2}{d^4} C$ (5), où le coefficient C dépend de la nature du métal, de l'état des surfaces de contact, etc. L'auteur a étudié seulement deux cas extrêmes ; la figure 8 représente le type de connexion qui lui a donné les plus mauvais résultats. En effet, le courant doit passer des filets de la vis à l'écrou, de l'écrou à la rondelle, et de la rondelle à la patte

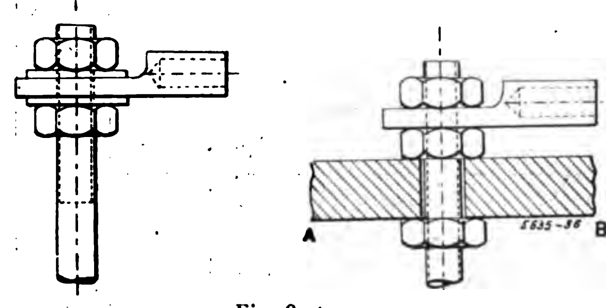


Fig. 8 et 9.

soudée au câble, soit trois surfaces de contact. D'autre part, l'écrou n'est en relation directe avec aucune pièce métallique conductrice de la chaleur, de sorte qu'il n'y a pas d'autre refroidissement que celui provenant des pertes par rayonnement. Avec des vis en laiton et cuivre, avec des écrous et des rondelles en fer, on a trouvé C compris entre 20 et 60, moyenne 30. Le système de serrage représenté par la figure 9 est très avantageux ; il n'y a que deux contacts et une grande partie de la chaleur peut se dissiper par la plaque AB. On a trouvé C compris entre 3 et 20, moyenne 10.

En résumé, en supposant un bon serrage, on voit que le coefficient C peut varier entre 3 et 60. Dans la pratique, pour tenir compte du jeu de l'écrou, il sera bon d'adopter un coefficient de sûreté quatre fois plus grand. En introduisant les moyennes 3 et 10 dans les formules 3 et 5 on aura la valeur de d en fonction I, soit $d = \sqrt[4]{\frac{I^2 \times C \times 4}{T}}$ mm.

Construction 8 — $d = \sqrt[4]{\frac{I^2 \times 30 \times 4}{50}} = 1{,}25 \sqrt{I}$ mm

pour T = 50° C.

$$d = \sqrt[4]{\frac{I^2 \times 30 \times 4}{25}} = 1{,}48 \sqrt{I}$$

pour T = 25° C.

Construction 9 — $d = \sqrt[4]{\frac{I^2 \times 10 \times 4}{50}} = 0{,}95 \sqrt{I}$

pour T = 50° C.

$d = \sqrt[4]{\frac{I^2 \times 10 \times 4}{25}} = 1{,}125 \sqrt{I}$

pour T = 25° C.

Le tableau suivant donne un certain nombre de valeurs de d en mm et pouces pour différentes charges.

VALEUR DE d en mm et pouces pouce = 2,54 cm.		CHARGE EN AMP. POUR UN ÉCHAUFF. DE			
		50° C.		25° C.	
mm	pouces	constr. 8	constr. 9.	constr. 8.	constr. 9.
0,635	1/4	25	44	18	30
0,793	5/16	40	68	28	48
0,95	3/8	57	98	40	70
1,106	7/16	78	134	55	95
1,27	1/2	100	175	72	125
1,59	5/8	158	273	115	195
1,91	3/4	228	393	165	280
2,22	7/8	310	535	220	380
2,54	1	405	700	290	500
3,175	1 1/4	630	1090	450	780
3,81	1 1/2	910	1575	650	1120
		1250	2130	880	1530
		1600	2800	1150	2000

Il est bien entendu que les nombres ci-dessus ne sont pas applicables aux connexions telles que celles représentées par la figure 10 où le courant passe directement d'un conducteur à

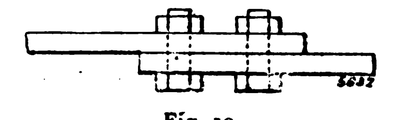


Fig. 10.

l'autre. Ce type de joint à recouvrement ne se prête pas facilement à une étude générale, car les conditions varient beaucoup de l'un à l'autre. L'auteur remarque seulement qu'il n'a jamais constaté d'échauffement nuisible en adoptant une densité de courant de 0,4 ampère par mm².

T. PAUSERT.

ÉLECTROCHIMIE

La préparation électrolytique de l'antimoine, par **J. Izart**. *L'Industrie Électrique*, t. XII, p. 10-12, 10 janvier 1902.

Dans un article publié l'an dernier, dans *L'Electricien* et dont une analyse a été donnée dans ces colonnes [1], l'auteur faisait connaître le principe d'un procédé imaginé par lui et M. Thomas pour la préparation de l'antimoine ; dans celui-ci, il fait connaître les résultats constatés dans les essais industriels récents de ce procédé.

On se souvient, qu'en principe ce procédé consiste à traiter le minerai sulfuré d'antimoine, la stibine SbS^3, par le sulfure de sodium de manière à former du sulfo-antimonite de sodium [2] qui est ensuite placé dans le compartiment cathodique d'un électrolyseur à diaphragme, le compartiment anodique contenant une solution de soude caustique de conductivité maximum (17 p. 100 de soude) ; de l'antimoine compact se dépose sur la cathode, tandis que le soufre se combine à la soude du compartiment anodique pour donner du sulfure de sodium qui sert au traitement d'une nouvelle quantité de minerai.

Comme le fait observer l'auteur, l'emploi comme électrolyte d'une solution de stibine

(1) *Écl. Élect.*, t. XXXI, p. 362, 7 juin 1902.

(2) Les auteurs font remarquer que c'est ce sel qui seul permet d'obtenir des bains électrolytiques d'antimoine à un prix suffisamment bas et un dépôt d'antimoine suffisamment pur pour être livré directement au commerce. Au point de vue de l'électrolyse on pourrait employer tout aussi bien des solutions de sels à acides organiques, tels que tartrates, oxalates, lactates, etc. qui donnent des dépôts d'antimoine de bonne qualité ; mais lors de l'électrolyse le radical acide est détruit à l'état d'eau et d'anhydride carbonique et, par suite, ne peut être utilisé pour reformer le sel électrolysé, dont le prix est toujours élevé. D'un autre côté, les sels ordinaires solubles les plus faciles à préparer, chlorure, bromure, iodure, ont l'inconvénient de donner en solution acide un dépôt d'antimoine fragile, possédant la fâcheuse propriété de détoner par le choc ou la chaleur. D'ailleurs, les bains de chlorure d'antimoine donnent lieu à d'autres difficultés : leur préparation par attaque de la stibine au moyen de l'acide chlorhydrique provoque un dégagement dangereux d'hydrogène sulfuré, et si l'acide chlorhydrique est en quantité trop faible, la réaction se renverse, c'est-à-dire que l'hydrogène sulfuré réagit sur le chlorure d'antimoine formé pour donner du sulfure d'antimoine jaune orangé ; Kopp a, il est vrai, indiqué un procédé de préparation qui évite ces difficultés : traitement de la stibine par le perchlorure de fer, ce perchlorure étant produit dans l'électrolyse du chlorure d'antimoine en mettant du chlorure ferreux dans le compartiment anodique ; mais l'inconvénient signalé de produire de l'antimoine inutilisable industriellement à cause de ses propriétés explosives subsiste encore.



dans un sulfure alcalin a été préconisé antérieurement par d'autres électrochimistes, mais certaines difficultés n'avaient pu être surmontées. En effet, le soufre libéré lors de la décomposition de SbS^3 ne se dépose pas, mais donne naissance à des polysulfures, qui, une fois suffisamment concentrés, se portent à la cathode et redissolvent les dépôts d'antimoine ([1]). D'autre part, le sulfure de sodium est un produit d'un prix relativement élevé. Le procédé Izart et Thomas résout ces difficultés, le soufre étant utilisé à la production du sulfure de sodium de la soude, matière première du procédé ayant une valeur commerciale bien inférieure à celle du sulfure du sodium.

Les premiers essais du procédé ont été faits à la mine d'antimoine de Cassagnas (Lozère) et les minerais de cette mine furent traités de différentes façon. Les essais qualitatifs montrèrent qu'en arrêtant l'électrolyse au moment où la soude est saturée, il ne se forme pas de traces de polysulfures. Les essais quantitatifs indiquèrent que, pour une dépense d'énergie de 1 kilowatt-heure, le poids d'antimoine recueilli est de 0,555 kg.

Plus récemment, dans une installation effectuée dans une concession d'antimoine située au cœurs des Pyrénées, on a obtenu 0,621 kg d'antimoine par kilowatt-heure.

En terminant, l'auteur montre que la préparation électrolytique de l'antimoine est plus économique que les méthodes chimiques actuelles. « En effet, dit-il, la méthode la plus économique paraît être celle de la désulfuration au moyen des vieux déchets de fer ; mais outre que le métal est plus ou moins impur et exige plusieurs fusions, elle n'est applicable qu'aux minerais qui veulent bien se fondre, c'est-à-dire contenant au moins 50 à 45 p. 100 de métal ; au-dessous de ce pourcentage, il faut convertir au préalable le sulfure en oxyde ou antimoniate d'oxyde par grillage au coke dans un four spécial, et réduire cet oxyde par le charbon additionné de fondants convenables. Mais cette double opération ne permet pas elle-même de tirer parti de façon rémunératrice de minerais au-dessous de 10 p. 100, de sorte que ces derniers sont perdus. Or, si l'on considère que dans une mine, ces mineaais quartzeux à 10 p. 100 ou les déblais de galeries qui ne peuvent supporter économiquement le triage ou l'enrichissement mécanique, constituent le plus souvent la majeure partie de l'extraction, l'on voit que l'avantage revient sans hésitation au procédé électrique, qui par sa méthode de dissolution chimique permet de tirer parti des minerais pauvres, aussi pauvres soient-ils. »

([1]) « C'est, dit M. Izart, afin de résoudre cet inconvénient que l'on s'est livré à différentes recherches, et aussi, au point de vue économique, pour chercher à éviter autant que possible l'emploi du sulfure de sodium qui est un produit assez cher, ou tout au moins à le récupérer en majeure partie.

» Borchers emploie le sulfure de sodium et cherche à tirer parti des solutions résultant de l'électrolyse, lesquelles sont constituées par des polysulfures, accompagnés de sulfhydrate et d'hyposulfite de sodium. Il traite ces solutions, soit par oxydation par courant d'air afin de transformer les sulfures en hyposulfite, soit par un acide afin de récupérer le soufre ; dans l'un et l'autre cas la valeur des sous-produits est réellement trop faible pour compenser le coût de la matière première, à moins de les utiliser dans quelques cas particuliers, comme le traitement des minerais argentifères après grillage chlorurant dans le cas de l'hyposulfite, ou fabrication d'acide sulfurique dans le cas du soufre.

» Siemens et Halske, eux, dissolvent le minerai dans le sulfure acide de sodium ; le soufre de la stibine, si gênant en temps ordinaire, s'en va à l'état d'hydrogène sulfuré, mais est perdu. L'électrolyse se fait toujours dans un électrolyseur à diaphragme : le compartiment cathodique contient naturellement le liquide antimonifère ; mais dans le compartiment anodique les inventeurs ont eu l'idée bizarre de mettre du chlorure de sodium, afin, disent-ils, de recueillir du chlore à l'anode. C'est pousser un peu loin la complication, déjà bien suffisante par le seul fait de la présence d'un diaphragme.

» Néanmoins cette méthode est la plus parfaite puisque le soufre, qui est généralement l'auteur des troubles, est supprimé avant l'arrivée aux électrolyseurs ; aussi Engelhardt, le chef des travaux électrochimiques, a-t-il pu obtenir des plaques cohérentes d'antimoine électrolytique titrant 99,69 p. 100. Mais la solution du problème consistant à tirer parti du soufre au fur et à mesure de sa mise en liberté n'était en rien résolue.

» Parallèlement à l'idée de Siemens et Halske, on a cherché beaucoup de corps susceptibles de dissoudre le minerai tout en contenant le moins possible de soufre ; c'est ainsi qu'après les sulfures acides alcalins on a proposé le mélange de sulfhydrate et de sulfate d'ammoniaque. En un mot, il fallait un corps susceptible d'absorber le soufre sans donner naissance à des polysulfures. »

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 12 janvier 1903.

Résistivité et température, par **Ponsot**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 87-89.

L'auteur considère deux sources thermiques s et s', très étendues, reliées par une multitude de conducteurs identiques, ayant même section d'un bout à l'autre et où les surfaces isothermiques sont planes et parallèles. Ces deux sources étant d'abord à la même température θ_s, si l'on fait passer un courant d'intensité i dans chaque conducteur, celui-ci se chauffera par suite de l'effet Joule et de l'effet Thomson et le régime permanent sera caractérisé par l'existence d'une température maximum θ_m en une section de chaque conducteur le divisant en deux parties inégales: la plus courte est celle où l'effet Thomson s'ajoute à l'effet Joule ; la chaleur résultante s'écoule dans les deux sources par conductibilité.

En désignant par $\mathcal{E}$ le potentiel dont la diminution donne la chaleur dégagée par l'effet Thomson, E celui qui correspond à l'effet Joule, q la quantité de chaleur (exprimée en Joules) qui, dans l'unité de temps, passe à travers la section de chaque conducteur caractérisée par la température θ et dont la grandeur est supposée égale à l'unité, a le coefficient de conductibilité calorifique, enfin par x la distance de la section considérée à celle dont la température est maximum, θ_m, et pour laquelle $q = 0$, on a

$$\frac{dq}{d\theta} = -i\left(\frac{d\mathcal{E}}{d\theta} + \frac{dE}{d\theta}\right), \qquad (1)$$

$$q = i\left[\frac{d\mathcal{E}}{d\theta}(\theta_m - \theta) + \int_\theta^{\theta_m} \frac{dE}{d\theta}\,d\theta\right] = -a\frac{d\theta}{dx}. \qquad (2)$$

Il est évidemment possible d'augmenter la longueur de chaque conducteur à l'une quelconque de ses extrémités en enlevant la source qui s'y trouve, sans changer le régime permanent existant : il faudra maintenir la même intensité de courant et disposer à l'extrémité libre de la partie ajoutée à chaque conducteur une source de température convenable $\theta < \theta_s$.

Considérons la partie de chaque conducteur où l'effet Joule et l'effet Thomson sont de signes contraires : $\frac{d\mathcal{E}}{d\theta}$, par exemple, est négatif, $\frac{dE}{d\theta}$ positif, le courant est dirigé dans le sens des températures décroissantes.

Montrons d'abord que, quels que soient x et i, la valeur de q ne peut pas changer de signe. Le contraire étant supposé, il résulterait de (2) que θ passerait par une valeur minimum θ' ; il y aurait donc deux valeurs de x pour lesquelles la température serait la même et supérieure à θ'; l'effet total du courant aurait donc été un abaissement de température dans toutes les parties du conducteur comprises entre ces deux valeurs de x, ce qui est contraire aux faits ; donc, quand x croît indéfiniment, q reste positif et θ décroît.

θ_m dépend de l'intensité du courant et de la longueur des conducteurs entre les deux sources θ_s ; on peut, en augmentant cette intensité et en diminuant cette longueur, maintenir θ_m constant et très voisin de θ_s. $\int \frac{dE}{d\theta}\,d\theta$ entre θ_m et θ est la force électromotrice entre les deux sections θ_m et θ ; elle peut être aussi grande qu'on veut. Il en résulte que le facteur entre parenthèses (2) s'annule quand x est infini pour des valeurs décroissantes de θ lorsque la force éleotromotrice croît. Dans le cas particulier où ce facteur s'annule pour $\theta = 0$, on peut alors transformer l'égalité (2) en

$$q = -a\frac{d\theta}{dx} = -i\left(\frac{d\mathcal{E}}{d\theta}\theta + \int_0^\theta \frac{dE}{d\theta}\right). \qquad (2\,bis)$$

Posant $i = \frac{dE}{d\theta} : \frac{dR}{d\theta}$, multipliant les deux derniers membres de l'égalité par $\frac{dR}{d\theta}$ et les divisant par θ, représentant $-\frac{dR}{dx}$ par r et cherchant la valeur limite de chaque membre, on a

$$\lim \frac{ar}{\theta} = -\frac{dE}{d\theta}\left(\frac{d\mathcal{E}}{d\theta} + \frac{dE}{d\theta}\right).$$

Cette limite étant positive, comme a, r et θ, il faut que $\frac{dE}{d\theta}$ positif ait une valeur qui ne dépasse pas $-\frac{d\mathcal{E}}{d\theta}$; comme ce dernier est fini et

constant, on conclut que r s'annule avec θ; mais r désigne, dans ce cas, la résistivité, car $\frac{d\theta}{dx} = 0$; d'où *la résistivité est nulle au zéro absolu.*

Cette loi convient aux corps dans lesquels le passage du courant ne produit aucune modification chimique.

Il y a au moins une température $\theta < \theta_m$ pour laquelle q a un maximum; alors (1) $\frac{d\mathcal{E}}{d\theta} = -\frac{dE}{d\theta}$, c'est la condition admise par Liebenow pour établir la relation reproduite antérieurement [1]; mais il avait posé $q : \theta = i \frac{dE}{d\theta}$ et admis que $\frac{dR}{dx}$ représentait la résistivité, ce qui n'est pas exact; M. Ponsot conclut *qu'on ne connait pas la relation entre la résistivité et la température absolue.*

A la température θ_m, comme $\frac{d\theta}{dx} = 0$, $-\frac{dR}{dx}$ ou r est bien la résistivité; mais elle a une valeur indéterminée puisque θ_m dépend de i, de θ_1 et de la distance des deux sources θ_1; $-\frac{dR}{dx} = -\frac{dR}{d\theta}\frac{d\theta}{dx}$, d'où $\frac{dR}{d\theta}$ et $\frac{dE}{d\theta}$ à la température θ_m prennent une valeur infinie en changeant de signe.

Sur deux siliciures de manganèse, par **P. Lebeau.** *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 89-92.

Dans le cours de ses recherches sur les siliciures métalliques, M. Vigouroux [2] a préparé et étudié un siliciure de manganèse répondant à la formule $SiMn^2$. Plus récemment, De Chalmot [3] a signalé un autre siliciure Si^2Mn, dans les produits bruts de la réduction au four électrique d'un mélange de quartz, d'oxyde de manganèse, de chaux et de charbon, mais il ne put l'en séparer. Enfin MM. Carnot et Goutal [4] ont reconnu la présence d'un siliciure de manganèse dans les résidus de l'action de l'acide sulfurique étendu, à l'abri de l'air, sur les fontes ordinaires. Parmi ces siliciures de manganèse, seul le premier a fait l'objet d'une étude spéciale et les deux autres n'ont pu encore être isolés jusqu'ici à l'état de pureté. Il était intéressant de compléter l'étude de ces combinaisons siliciées du manganèse qui sont susceptibles, ainsi que l'établissent les recherches de MM. Carnot et Goutal, de se rencontrer parmi les constituants des produits métallurgiques. Dans sa note, M. Lebeau fait connaître les résultats de ses recherches concernant les siliciures $SiMn^2$ et $SiMn$ [1].

(1) *Écl. Élect.*, t. XXXIII, p. 249, 15 novembre 1902.

(2) Vigouroux, *Annales de Chimie et de Physique*, 7e série, t. XII, 1896, p. 153.

(3) De Chalmot, *American chem. J.*, t. XVIII, 1898, p. 536.

(4) Carnot et Goutal, *Annales des Mines*, 9e série, t. XVIII, 1900, p. 271.

(1) « *Préparation du siliciure* $Si\,Mn^2$. — Ce siliciure prend naissance lorsque l'on fait réagir par voie de fusion le cuivre, le manganèse et le silicium en quantités telles que ce dernier soit en proportion relativement faible par rapport aux deux autres. Deux procédés différents nous ont servi à réaliser ces conditions : 1° en fondant un alliage de cuivre et de manganèse avec du silicium ; 2° en réduisant un mélange de fluosilicate de potassium et d'oxyde de manganèse Mn^3O^4 par le sodium, en présence de cuivre.

» Dans le premier cas, on chauffe au four électrique, dans un creuset de charbon muni de son couvercle, 100 gr d'un alliage de cuivre et de manganèse titrant 22,35 p. 100 de ce dernier métal et 10 gr de silicium cristallisé. La durée de la chauffe est de 2 minutes pour un courant de 400 ampères sous 70 volts. Une chauffe trop prolongée donnerait un produit souillé de graphite. Le culot métallique formé est traité alternativement par l'acide azotique étendu de son volume d'eau et par la lessive de soude à 10 p. 100. On obtient finalement un résidu cristallisé très homogène répondant à la formule $Si\,Mn^2$.

« Pour produire la seconde réaction, on projette dans un creuset de terre réfractaire, préalablement chauffé au rouge au four Perrot, un mélange de 184 gr de sodium, 264 gr de fluosilicate de potassium, 925 gr d'oxyde de manganèse Mn^3O^4 et 100 gr de cuivre (60 gr de cuivre en tournure et 40 gr de cuivre en fragments). Si les matières sont parfaitement desséchées, la réaction se produit très régulièrement sans aucune projection. Elle a lieu immédiatement. On chauffe encore 20 minutes et on laisse ensuite refroidir lentement.

» Le culot se détache facilement du creuset, on le traite comme il a été indiqué précédemment et l'on obtient un résidu pesant environ 25 gr, formé de très beaux cristaux du siliciure $Si\,Mn^2$.

» *Propriétés du siliciure* $Si\,Mn^2$. — Ce composé, préparé dans des conditions fort différentes de celui de M. Vigouroux, s'en distingue par quelques-unes de ses propriétés. Il est beaucoup moins attaquable par les réactifs.

» Les cristaux du siliciure $Si\,Mn^2$ sont des prismes très brillants d'apparence quadratique. Leur densité est 6,20 à 15°. Ils rayent le verre, mais n'entament pas le quartz.

» L'acide chlorhydrique, en solution concentrée ou

étendue, dissout ce siliciure. L'acide azotique, au contraire, ne l'attaque pas sensiblement, même à chaud, après plusieurs heures et quel que soit son degré de concentration. Il est détruit lentement par les lessives alcalines étendues, aussi ne doit-on pas prolonger l'action de la solution de soude que l'on emploie pour le séparer de la silice gélatineuse, dans le traitement des culots, que nous avons décrit plus haut.

» *Préparation du siliciure* Si Mn. — Les procédés de préparation de ce composé sont tout à fait comparables à ceux utilisés pour le siliciure $Si Mn^2$. Les quantités de matières mises en présence seules diffèrent. Elles correspondent, pour le premier mode décrit, à 100 gr du même alliage de cuivre et de manganèse et 25 gr de silicium; pour le second, 215 gr de fluosilicate de potassium, 23 gr d'oxyde de manganèse, 50 gr de cuivre et 100 gr de sodium. Le produit cristallisé est isolé de la même façon par des traitements alternés à l'acide azotique et à la solution de soude, des culots grossièrement concassés.

» *Propriétés du siliciure* Si Mn. — Le siliciure Si Mn se présente en beaux cristaux tétraédriques très brillants. Sa densité à 15° est 5,90. Il est plus dur que le composé $Si Mn^2$. Il raye le topaze mais non le corindon, sa dureté est donc comprise entre 8 et 9.

» Nous avons fait une étude assez complète des actions qu'exercent sur ce siliciure un grand nombre de corps simples et de corps composés. Nous ne pouvons mentionner ici que quelques-unes d'entre elles, les autres ainsi que les analyses seront décrites ultérieurement dans un Mémoire qui paraîtra dans les *Annales de Chimie et de Physique*.

» Parmi les métalloïdes, seuls les corps halogènes détruisent facilement ce composé. L'oxygène et la vapeur d'eau ne produisent une oxydation superficielle visible qu'au-dessous de 1000°. Le carbone et le silicium réagissent sur le siliciure fondu. Le premier fournit du siliciure de carbone et du manganèse qui peut être complètement volatilisé si l'on opère au four électrique. Le second, employé en proportions croissantes, donne d'abord un mélange de ce corps avec un siliciure plus riche et finalement un produit fondu dans lequel le silicium lui-même se dissout en grande quantité.

» Les hydracides gazeux attaquent facilement le siliciure de manganèse. L'hydrogène sulfuré est sans action sensible à 800°.

» L'acide azotique et l'acide sulfurique concentrés ou étendus sont sans action à froid ou à chaud. L'acide chlorhydrique concentré bouillant donne une attaque superficielle très lente. On peut utiliser cette propriété pour séparer ce composé Si Mn du siliciure $Si Mn^2$, qui est plus rapidement dissous.

» Les deux siliciures de manganèse $Si Mn^2$ et Si Mn peuvent donc être obtenus tous deux dans l'action du manganèse sur le cuivre silicié. On peut les envisager comme les divers termes correspondant à des équilibres chimiques qui se produisent dans le système élémentaire, cuivre, silicium, manganèse. »

Séance du 19 janvier 1903.

Constatation d'un champ tournant électromagnétique, produit par une modification hélicoïdale des stratifications, dans un tube à air raréfié ; par **Th. Tommasina**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 153-155.

Les phénomènes signalés dans cette note ont été observés à l'aide d'un tube cylindrique à air raréfié, ayant 60 cm de long et 3 cm de diamètre, muni à l'une des extrémités d'un réservoir à communication capillaire, contenant de la potasse caustique [1].

[1] « L'une des électrodes, fixée dans un appendice latéral du tube, à proximité de sa partie capillaire, est constituée par un fil d'aluminium qui entre obliquement jusqu'au centre du tube, tandis que l'autre électrode porte un miroir plan de platine, normal à l'axe. Ce tube donne de très belles stratifications et produit devant la cathode un espace sombre de Faraday, dont la longueur dépasse 10 cm. L'approche d'un aimant allonge ou raccourcit cet espace, et l'on obtient très nettement les déviations latérales et les déformations connues des stratifications. Ainsi, si l'on promène le tube normalement aux lignes de force entre les pôles d'un aimant en fer à cheval, on voit les anneaux devenir plus lumineux et doubler ou tripler de nombre dans le champ magnétique. Si, au contraire, on déplace l'aimant parallèlement à sa ligne polaire et à l'axe du tube, en le tenant à proximité de l'une des électrodes et faisant un mouvement de va-et-vient, on observe à l'autre électrode le phénomène curieux que voici :

» Les stratifications lumineuses, suivant le sens du déplacement de l'aimant, semblent sortir ou entrer dans un étui invisible, dont l'ouverture se trouverait à 7 mm ou 8 mm devant l'électrode, précisément comme ce serait le cas pour un solénoïde élastique, fixé au fond de l'étui par l'une de ses extrémités pendant que celle qui est visible serait attirée par l'un des pôles de l'aimant ou repoussée par l'autre. C'est la recherche de la cause de cette apparence curieuse, qui m'a conduit à la constatation du fait que j'ai indiqué dans le titre.

» Dans le dispositif de cette expérience, les électrodes du tube à vide étaient reliées directement aux bornes du secondaire de la bobine d'induction ; chaque électrode devenant ainsi successivement anode et cathode, il apparaissait un espace sombre de Faraday à chaque extrémité du tube, mais on y distinguait également les stratifications, bien que, naturellement, beaucoup moins lumineuses que dans la partie centrale. Or, l'électrode munie de miroir se trouvait être anode pour l'extra-courant de rupture, lorsqu'un point brillant sur le bord du miroir attira mon attention. Ce point projetait une tache lumineuse sur la partie de la paroi du tube de son côté. Lorsqu'on approchait l'aimant, cette tache était repoussée ou attirée de plus de 120°, se déplaçant toujours dans un plan parallèle à celui du miroir. Ceci démontrait que le point brillant n'était autre que le point lumineux qu'on voit toujours à l'extrémité d'une anode linéaire. En effet, en faisant les interruptions à la main, j'ai constaté que le point n'apparaissait qu'aux ruptures du courant primaire ; il indiquait donc l'endroit où l'émission anodique



« Tous les faits observés, conclut l'auteur, me semblent confirmer l'origine anodique de ces phénomènes et le rôle que la réflexion doit jouer dans la modification cathodique. J'ajoute seulement que, si les charges sont transmises suivant le faisceau hélicoïdal, celui-ci doit se comporter comme un solénoïde parcouru par un courant. Dans ce cas, ce faisceau, qui serait le faisceau déviable, tournerait sous l'action de l'autre partie du courant qui parcourt le faisceau non déviable, précisément comme un solénoïde mobile autour d'un courant linéaire fixe. »

était *maxima* ; aussi, la déviation magnétique, très visible, de ce point, présentait le plus grand intérêt. J'augmentai graduellement le courant et j'observai que l'angle de la déviation produite par l'aimant allait en croissant. Lorsqu'il fut presque de 180°, je la vis quelquefois faire un tour complet. J'attribuai la chose à la la rapidité avec laquelle j'avais approché l'aimant ; mais, ayant augmenté de nouveau le courant; je vis tout à coup se produire un obscurcissement instantané du tube, puis un plus fort éclat, accompagné des modifications suivantes :

» L'espace sombre du côté du miroir sensiblement raccourci, la tache lumineuse transformée en bague lumineuse, le point brillant disparu, tandis que tout le bord du miroir avait gagné d'éclat. En outre, les stratifications, qui étaient devenues peu à peu sensiblement inclinées et produisaient un entrecroisement flou dans la partie centrale, s'étaient modifiées et avaient repris leur forme primitive, normale à l'axe du tube. Enfin, une rotation intérieure était parfaitement visible, de même qu'une pulsation longitudinale, mais la rotation semblait plus rapide et plus régulière.

» Quand on diminua l'intensité du courant, la rotation ne cessa qu'avec la rupture du circuit; après quelques instants d'arrêt, l'expérience étant recommencée lorsque l'intensité qui allait en croissant eut atteint le point critique, la rotation se manifesta tout à coup sans l'intervention d'aucun amorçage magnétique extérieur.

» Par la simple insertion dans le circuit, pendant la rotation, d'une décharge dans le pétrole, pour éliminer le courant induit de fermeture, et en utilisant un courant de plus en plus faible, avec des interruptions très lentes, j'ai pu voir nettement la chose. Le volume de la luminescence anodique ne formait plus qu'une espèce de ruban en hélice, dont les spires continuaient à s'allonger pendant que leur nombre diminuait. Lorsqu'il n'y eut plus qu'une seule spire tenant toute la longueur du tube, on la vit se détordre de plus en plus et devenir droite quand tout mouvement de rotation eut cessé.

» En faisant ensuite fonctionner comme anode l'électrode sans miroir, et étudiant à la loupe le point brillant, j'ai constaté qu'il a une forme sphérique, qu'il n'est pas placé précisément à l'extrémité du fil fin, mais un peu de côté ; son contour est nét, bien qu'un mouvement pulsatoire soit très visible dans toute sa masse, mouvement qui semble synchrone avec celui du trembleur. En outre, on en voit souvent deux ou trois, disposés en grappes, mais les autres sont moins lumineux et jaunâtres. Tous occupent une position absolument invariable ; le plus brillant est toujours le même, les trois couronnent l'extrémité du fil, dont toutes les autres parties n'émettent aucune lumière.

» J'ai observé également que, soit le fil, soit le miroir, lorsqu'ils fonctionnent comme cathode, sont frappés continuellement de tous les côtés (le miroir presque autant sur ses deux faces) d'un certain nombre de particules qui produisent de petites étincelles très brillantes, accompagnées quelquefois d'un petit jet de luminosité en forme d'auréole. Jamais ce phénomène ne se manifeste lorsqu'ils fonctionnent comme anode ; cette projection de particules est donc d'origine anodique.

Sur une soi-disant réduction électrolytique du chlorate de potassium, par **André Brochet**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 155-157.

« Le chlorate de potassium ne peut être transformé en chlorure par réduction cathodique. Lorsque l'on électrolyse une solution de chlorure de potassium, on remarque bien, il est vrai, une absorption d'hydrogène ; mais c'est le fait de la réduction de l'hypochlorite servant toujours de terme de passage entre le chlorure et le chlorate. J'ai démontré en effet [1] que l'électrolyse du chlorure de potassium en présence d'oxyde de cobalt ne donnait pas de chlorate, en raison précisément de la destruction de l'hypochlorite formé. Ce point confirmé même en milieu alcalin, alors que, dans l'électrolyse sans oxyde de cobalt, l'hypochlorite ne peut être décelé, montre évidemment que la faible réduction que l'on obtient dans ces conditions est bien encore le fait de l'hypochlorite. Ces expériences établissaient, en outre, l'impossibilité de la formation primaire du chlorate de potassium, ainsi que l'admettaient les théories d'Œttel et de Fœrster sur l'électrolyse des chlorures alcalins.

» Le professeur Bancroft [2] et M. Burrows [3] ont fait un certain nombre de recherches sur un procédé de réduction électrolytique du chlorate de potassium. Ayant émis quelques doutes sur leurs théories, j'ai repris leurs essais. Au point de vue expérimental, je suis d'accord avec eux sur ce fait, que l'électrolyse du chlorate de potassium avec une anode de cuivre donne nais-

(1) *Ecl. Elec.*, t. XXIII, p. 509, 30 juin 1900.

(2) *Transactions of the American electrochemical Society*, t. I, p. 65.

(3) *The Journal of Chemical Chemistry*, t. VI, p. 417.

sance à du chlorure de potassium en quantité plus grande que ne le prévoit la théorie admettant une réduction par l'hydrogène cathodique d'après l'équation

(1) $$ClO^3K + 3H^2 = ClK + 3H^2O.$$

» Je suis en désaccord avec eux sur ce point, que le précipité brun formé n'est pas de l'oxyde de cuivre pur obtenu en quantité théorique, mais un mélange complexe renfermant, à côté de l'oxyde de cuivre, du cuivre métallique et une faible quantité de chlorure, ainsi que sur d'autres points de détail. Je suis en désaccord avec eux relativement à la théorie de la réaction.

» Je suis arrivé aux conclusions suivantes :

» Dans l'électrolyse des sels alcalins au moyen d'une anode soluble, on obtient successivement : formation du sel du métal, précipitation par l'alcali formé à la cathode de l'hydrate, lequel est réduit par l'hydrogène, de sorte que l'on n'observe aucune réaction apparente, mais un simple changement d'état physique du métal.

» Lorsque l'on fait l'électrolyse du chlorate de potassium avec une anode de cuivre, à côté de cette série *normale* de réactions on remarque une série *anormale*, d'ordre purement chimique, due à la décomposition au contact du cuivre métallique, d'après la réaction (2), du chlorate de cuivre formé.

(2) $$(ClO^3)^2\,Cu + 6Cu = CuCl^2 + 6CuO$$ [1].

» On peut donc admettre qu'il se forme primitivement du chlorure cuivrique et de l'oxyde cuivreux, lequel se transforme en oxyde cuivrique en précipitant le chlorure à l'état de sel basique ainsi qu'une certaine quantité de chlorate.

» Cette réaction se passe également à froid, mais elle est beaucoup plus lente et le précipité obtenu est bleu au lieu d'être vert. Il y a réduction dans les mêmes conditions, mais avec beaucoup moins d'intensité, en utilisant une solution de chlorate de potassium à 50 gr par litre, additionnée de sulfate de cuivre.

» La réaction (2) se passe, à côté de la série *normale* de réactions, dans l'électrolyse du chlorate de cuivre et dans celle du chlorate de potassium avec anode de cuivre. Mais alors que, dans le premier cas, on obtient une poudre bleue renfermant des sels basiques du chlorate et du chlorure, analogue à celle obtenue sans électrolyse, et un dépôt de cuivre, très vilain, il est vrai ; dans le second cas, les sels basiques sont en majeure partie détruits par la potasse ou réduits par l'hydrogène, de sorte que l'oxyde noir obtenu renferme une forte proportion de cuivre métallique et une faible quantité seulement de chlorure, la majeure partie étant passée en solution ; mais il ne renferme pas de chlorate [1].

» Le fait signalé par MM. Bancroft et Burrows, de *la réduction électrolytique du chlorate de potassium*, n'est donc pas précisément en rapport avec ce titre, bien qu'il corresponde à la réaction apparente indiquée. Le chlorate de potassium, lui-même, est irréductible, et sa prétendue réduction est le résultat de l'action intermédiaire du cuivre métallique sur le chlorate de cuivre. »

(1) « Cette réaction est d'ailleurs très simple à réaliser ; il suffit en effet de faire bouillir une solution concentrée de chlorate de cuivre en présence de tournure de cuivre, pour obtenir presque immédiatement un abondant précipité avec le nitrate d'argent. Si l'on maintient le mélange au bain-marie, on constate au bout de 1 heure environ la formation d'un précipité vert, et la quantité de chlorure diminue dans la solution. Ce précipité vert est formé d'oxyde de cuivre, renfermant du chlorate et du chlorure, ces derniers probablement à l'état de sels basiques insolubles dans l'eau. On constate en même temps que le cuivre se recouvre d'hydrate d'oxyde cuivreux jaune. »

(1) « Cette série *anormale* de réactions explique également la forte proportion de chlorure formé. En effet :

» Deux fois 26,8 ampères-heure (96 540 coulombs) fournis à l'électrolyseur décomposent une molécule-gramme de chlorate de cuivre ou deux de chlorate de potassium pour mettre en liberté 2 ClO^3 pouvant donner la réaction suivante :

(3) $$2ClO^3 + 7Cu = Cu\,Cl^2 + 6CuO,$$

c'est-à-dire mettent en liberté 2Cl sous forme de chlorure.

» Or, si nous considérons la réaction (1), nous voyons que pour obtenir 2Cl sous forme de chlorure par électrolyse du chlorate de potassium, il faudra 6H. Ce n'est donc plus deux fois, mais douze fois 26,8 ampères-heure qu'il faudra fournir à l'électrolyseur.

» Le rendement, si l'on admet seulement la série anormale de réactions basée sur la décomposition du chlorate de cuivre, pourra donc atteindre 600 p. 100 de la quantité de chlorure calculé d'après la réaction (1).

» Le rendement de 150 à 200 p. 100 que l'on obtient pratiquement montre donc bien qu'à côté de la série *anormale* se passe également la série *normale* sans formation de chlorure. »

Le Gérant : C NAUD.



Tome XXXIV Samedi 7 Février 1903. 10e Année. — N° 6

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SUR L'EFFET WIEDEMANN

TORSION DES FILS SOUS L'ACTION D'UN CHAMP MAGNÉTIQUE

Wiedemann [1] constata en 1837 qu'un fil de fer soigneusement recuit, placé dans l'axe d'une bobine magnétisante, fixé à l'une de ses extrémités et libre à l'autre, prend, lorsqu'il est parcouru par un courant, une torsion dont la valeur dépend des intensités circulant dans le fil et dans la bobine.

Il constata que si l'on faisait croître, dans un champ longitudinal fixe, l'intensité du courant circulant dans le fil, la torsion croissait en tendant vers un maximum.

Si au contraire, c'était l'intensité du courant circulant dans la bobine qu'on faisait croître, la torsion passait par un maximum, puis décroissait.

Knott [2] étendit au nickel les résultats de Wiedemann et constata que tous ces phénomènes étaient doués d'hystérésis. Il détermina la forme des cycles obtenus en laissant fixe l'un des courants et en faisant varier l'autre entre deux valeurs égales et de sens contraire.

L'étude de ce phénomène fut reprise par Nagaoka [3] qui, plus récemment en collaboration avec Honda, a étendu ses recherches aux aciers au nickel [4].

J'ai été amené récemment à reprendre l'étude de ces phénomènes [5]. Pour le fer, les

---

(1) WIEDEMANN. *Electricität*, t. III, p. 798.

(2) KNOTT. *Transaction Royal Soc. d'Édimbourg*, t. XXXII, p. 193, t. XXXV, p. 377, 1899.

(3) NAGAOKA. *Proced. Royal Soc. d'Édimbourg*, t. XXV, p. 386, 1899. *Journal Sc. col. Tokio*, t. IV, p. 323, 1891, *Comptes rendus du Congrès de Physique de 1900*, t. II, p. 544.

(4) NAGAOKA et HONDA. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 538. *Société de Physique*, 21 mars 1902. *Éclairage Électrique*, t. XXXI, p. 150.

(5) Travail fait au Laboratoire de Physique de la Faculté des sciences de Rennes.

résultats concordent avec les résultats précédemment trouvés. J'ai également déterminé la forme des cycles dans les aciers au nickel, forme qui n'avait pas été indiquée par MM. Nagaoka et Honda.

Dispositif expérimental. — Le fil à étudier supporté par une pince à sa partie supérieure était placé dans l'axe d'une bobine verticale. A sa partie inférieure, il était relié par une tige rigide à une masse de plomb de forme cylindrique terminée par une tige plongeant dans du mercure pour amener le courant. Au-dessus du mercure, se trouvait un mélange de glycérine et d'eau et une feuille de carton avait été collée sur la partie de la tige traversant ce mélange de façon à amortir les oscillations. Le fil avait 55 cm de long. Un miroir collé sur la tige rigide permettait d'évaluer les torsions par des lectures sur une échelle placée à 1 mètre.

Avec cette disposition, le fil était soumis à l'action de la composante verticale du champ terrestre, il en a été tenu compte dans l'évaluation du champ magnétisant. Le fil à étudier étant presque aussi long que la bobine, son aimantation n'était pas uniforme, mais j'ai vérifié que ce fait n'influait en rien sur la forme générale des résultats.

Les fils à étudier étaient soigneusement recuits pour faire disparaître toute trace de magnétisme rémanent ou de torsion résiduelle (1).

Pour faire disparaître toute trace de torsion résiduelle qui eût pu subsister au recuit ou plutôt se produire pendant le montage, on faisait subir au fil des torsions alternativement dans un sens ou dans l'autre, en diminuant à chaque fois l'amplitude de la torsion jusqu'à ce qu'elle devînt nulle. En général, une opération de ce genre suffisait, on le constatait en répétant l'opération et en constatant que le spot reprenait sur l'échelle transparente la même position que précédemment.

Résultats d'expérience. — Dans le fer, comme l'avait indiqué Wiedemann, le sens de la torsion est celui des aiguilles d'une montre pour le fil vu d'en haut et parcouru par un courant descendant, lorsque la bobine a son pôle nord à la partie supérieure.

En inversant l'un et l'autre des courants, on inverse le sens de la torsion.

La torsion produite dans un fil n'est pas la même, suivant qu'on ferme d'abord le circuit magnétisant ou le circuit comprenant le fil, elle est plus grande dans le second cas (2). Ainsi, un fil parcouru par un courant de 1,02 ampère dans un champ de 9 unités CGS, donne dans le premier cas, sur l'échelle placée à 1 m, une déviation de 25 mm et dans le second cas, cette déviation est de 27 mm.

Quelle que soit d'ailleurs la manière d'opérer, les lois générales du phénomène sont les mêmes. La figure 1 montre comment varie la torsion d'un fil placé dans un champ constant de 9,1 CGS, lorsqu'on fait croître l'intensité. Cette figure se rapporte à un fil de 0,32 mm de diamètre et l'expérience a été faite en fermant d'abord le circuit magnétisant. On voit que dans ces conditions, jusqu'à une intensité de 1,2 ampère, la torsion est proportionnelle à l'intensité et atteint à ce moment une valeur de près d'un demi-degré, puis croît moins rapidement et tend vers un maximum.

Si au contraire on maintient constant le courant circulant dans le fil, et si on fait croître le courant magnétisant, la torsion croît, passe par un maximum dépendant du courant cir-

(1) En général, des fils provenant du même échantillon, mais qui n'ont pas été recuits en même temps, ne donnent pas les mêmes résultats si le recuit n'a pas été effectué soigneusement. J'ai pu obtenir des résultats comparables en recuisant les fils pendant six heures dans un tube en porcelaine, dans un fourneau d'analyse au gaz à une température supérieure à 850°. Cette température était évaluée avec un couple Le Châtelier.

(2) Wiedemann opérait d'abord en fermant le circuit de la bobine magnétisante. Nagaoka n'indique pas comment il a opéré et s'il a obtenu des différences entre les deux cas.



culant dans le fil, atteint pour une valeur du champ croissant un peu avec ce courant maximum ; la torsion diminue ensuite, s'annule pour une valeur du champ variable avec le courant qui passe dans le fil, puis se tord en sens inverse. Dans la recherche du point d'inversion, il faut prendre garde au dégagement de chaleur dû à la bobine magnétisante, une élévation de température ayant pour effet d'éloigner ce point d'inversion.

Pour des fils de fer recuits de 0,33 mm de diamètre parcourus par un courant de 0,8 ampère, l'inversion a lieu vers 250 unités CGS. La courbe 1 de la figure 2 donne en fonction du champ les torsions d'un fil de fer recuit de 0,33 mm de diamètre (¹) parcouru par un courant constant de 1,2 ampère. La courbe (2) se rapporte au même fil, ce fil ayant été écroui par traction (²). Les secousses subies par le fil modifient légèrement la torsion. Elles

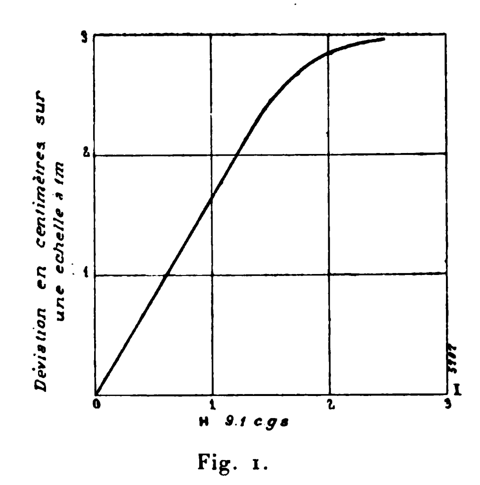


Fig. 1.

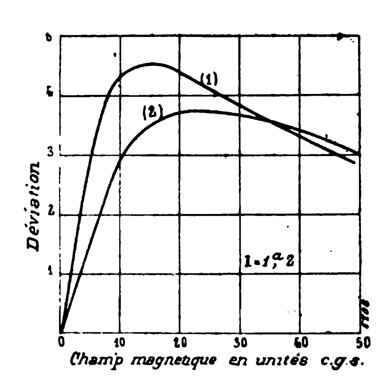


Fig. 2.

agissent dans le sens d'une augmentation du champ (augmentation ou diminution de la torsion suivant le cas). Cette modification est d'ailleurs très faible et avec les fils de fer de 0,33 mm, elle n'atteint même pas une minute.

Forme des cycles. — Si, maintenant le courant magnétisant constant, on fait varier le courant circulant dans le fil entre deux valeurs égales et de signes contraires, on obtient pour la courbe représentant la torsion en fonction de l'intensité, un cycle identique aux cycles d'hystérésis. Il n'en est plus de même lorsque c'est le courant magnétisant qu'on fait varier. Si la valeur maxima du champ dans ce cycle est plus petite que celle corresdant au maximum de torsion, on constate que lorsqu'on fait décroître le champ, la torsion continue à croître (³), passe par un maximum, puis décroît (fig. 3). Si on a dépassé le maximum, le cycle présente deux points doubles, pour les valeurs du champ correspondant à ce maximum. La torsion maxima se trouve sur la branche descendante et est atteinte pour une

(¹) Cette figure se rapporte à une expérience dans laquelle on a fermé d'abord le circuit comprenant le fil. Voici les valeurs exactes des points déterminés :

H = 5,	θ = 49'50"	H = 22,5	θ = 1°12'15"
H = 9,1	θ = 1°12'10"	H = 34	θ = 1°1'30"
H = 12,5	θ = 1°15'30"	H = 48	θ = 48'30"
H = 18	θ = 1°16'20"		

(²) Nous ne donnerons plus les valeurs de la torsion, les courbes donnant la valeur de la tangente de l'arc double.

(³) Le cycle n'est donc pas identique aux cycles d'hystérésis d'induction comme le dit M. Knott. *Lumière Électrique,* t. LI, p. 342.



valeur du champ plus petite que celle correspondant à la torsion maxima de la branche montante (fig. 4).

La forme de ce cycle dépend d'ailleurs de la manière dont il a été décrit.

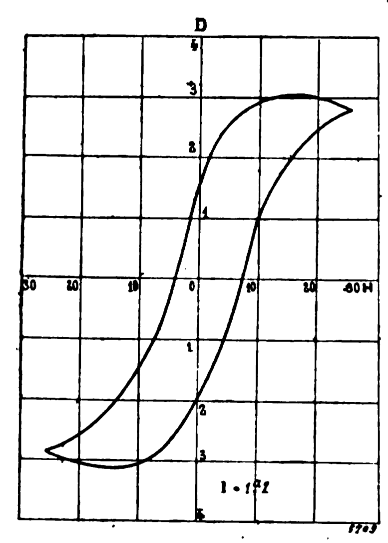


Fig. 3.

La longueur AB, caractéristique de la torsion résiduelle est plus petite de 7 ou 8 mm lorsqu'on se contente d'appliquer les champs maximums que lorsqu'on observe des points intermédiaires.

Il est à remarquer que la torsion résiduelle obtenue en annulant le courant dans la bobine, diminue si on supprime le courant du fil. Si on rétablit alors ce courant, la nouvelle torsion résiduelle n'est pas changée.

Les secousses subies par le fil diminuent notablement les torsions résiduelles.

La forme des cycles est la même pour des fils écrouis que pour des fils recuits, mais l'aire de ces cycles est plus grande [1].

On sait que la torsion d'un fil soumis à un couple augmente avec le temps.

Il doit en être de même dans le cas actuel, mais, avec des torsions aussi faibles, l'effet du temps a toujours été inappréciable.

Cas du nickel. — Le nickel se comporte d'une façon toute différente du fer. La torsion a lieu en sens inverse de celle du fer, fait signalé pour la première fois par Knott. Lorsque, maintenant le courant constant dans le fil, on fait varier l'intensité du courant longitudinal, la torsion croît, passe par un maximum, puis décroît, mais beaucoup plus lentement que dans le cas du fer. On n'arrive pas à constater l'inversion. Il serait même fort possible que cette inversion n'existât pas. Les différences observées entre le fer et le nickel, dans d'autres phénomènes de magnétostriction permettraient de le supposer.

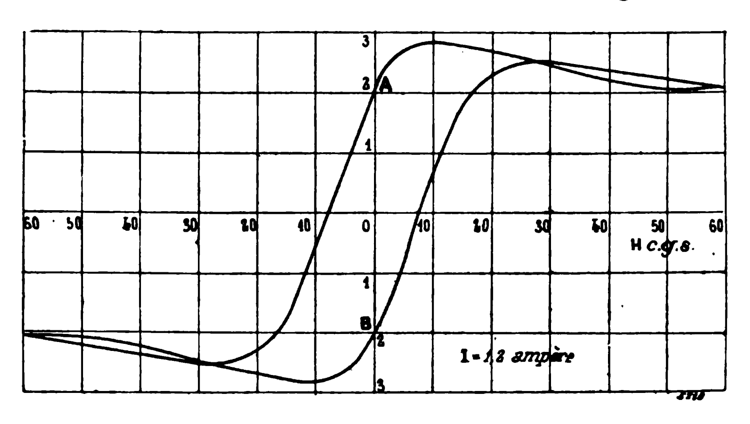


Fig. 4.

La forme des cycles est aussi bien différente. Si on ne dépasse pas la torsion maximum, la torsion décroît en même temps que le champ. La figure 5 se rapporte à des champs plus intenses ; elle a été obtenue avec un fil de nickel de 0,45 mm de diamètre.

Aciers au nickel. — Quatre échantillons d'aciers réversibles au nickel dus à M. Guillaume ont été étudiés.

Ces échantillons avaient 0,53 mm de diamètre. La grande résistivité de ces alliages a

[1] La forme de ces cycles peut être rapprochée des résultats obtenus par Nagaoka et Rhoads en étudiant l'allongement d'un morceau de fer dans un champ magnétique.

Nagaoka. *Philosophical Magazine*, t. XXXVII, p. 311. *Éclairage Électrique*, t. II, p. 603.

Rhoads. *Philosophical Magazine*, t. II, p. 463, 1901. *Éclairage Électrique*, t. XXXI, p. 367.

nécessité l'emploi dans le fil pour éviter son échauffement d'intensités beaucoup plus faibles que dans le cas du fer. Néanmoins on a pu vérifier que même des échauffements considérables n'altéraient pas la marche générale du phénomène. Tous ces aciers se tordent dans le sens du fer. Pour l'acier à 27,9 p. 100 de nickel, on a pu obtenir au maximum seulement 2,5 mm de déviation sur une échelle placée à 1 mètre.

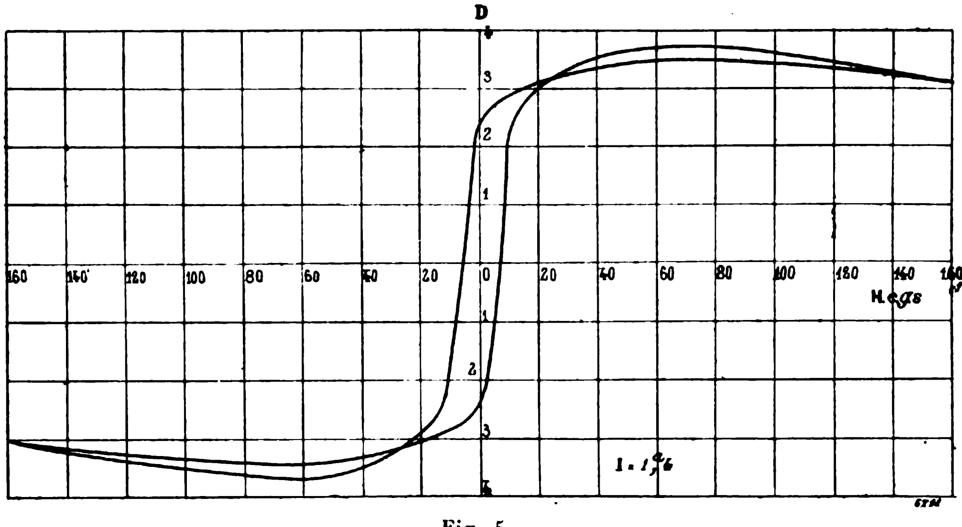


Fig. 5.

On peut toutefois constater que cette torsion passe par un maximum, quand, laissant fixe le courant dans le fil, on a fait croître le champ longitudinal.

Les autres échantillons à 33,5 p. 100, 39,4 p. 100 et 44 p. 100 donnent des torsions plus

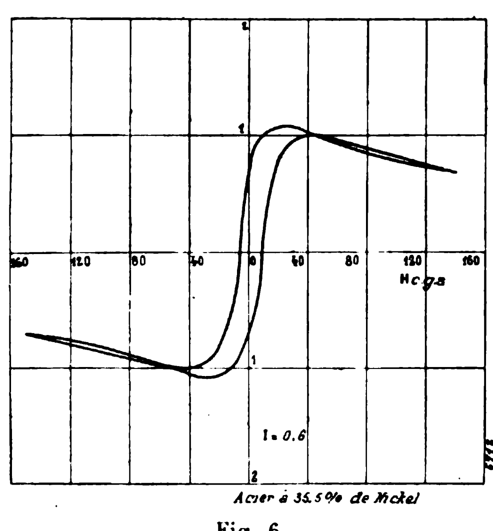


Fig. 6.

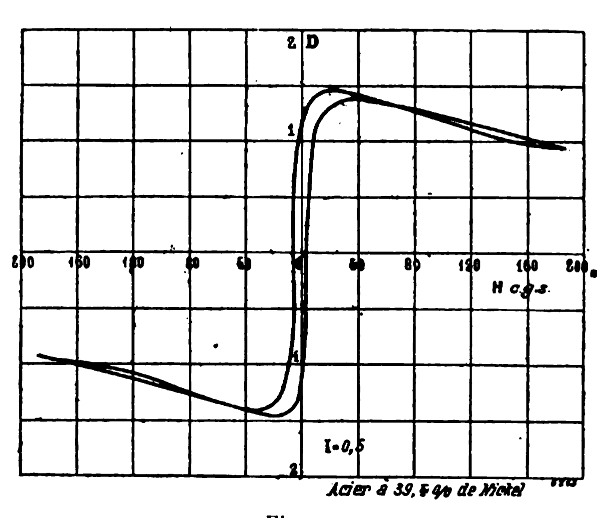


Fig. 7.

notables et plus considérables que celle que l'on obtiendrait avec le fer *dans les mêmes conditions*.

Les cycles obtenus en faisant varier la valeur du champ, se rapprochent plus de la forme de ceux du fer que de ceux du nickel. Les résultats sont représentés par les figures 6, 7 et 8.



Conclusion. — En publiant ces résultats dont plusieurs étaient déjà connus, j'ai cherché à attirer l'attention sur la complexité du phénomène. Aucune des théories proposées jusqu'ici pour l'explication des phénomènes de magnétostriction ne parvient à les expliquer complètement. Une des théories les plus généralement adoptées est celle de Kirchhoff.

Celui-ci admet que les déformations mécaniques d'un solide isotrope provoquent une variation de la susceptibilité et que l'aimant déformé cesse d'être isotrope au point de vue magnétique.

Il a montré que les déformations d'un solide isotrope placé dans un champ magnétique dépendaient de deux coefficients μ' et μ'', faciles à calculer lorsqu'on avait déterminé l'augmentation de longueur et l'augmentation de volume de ce solide sous l'influence de l'aimantation.

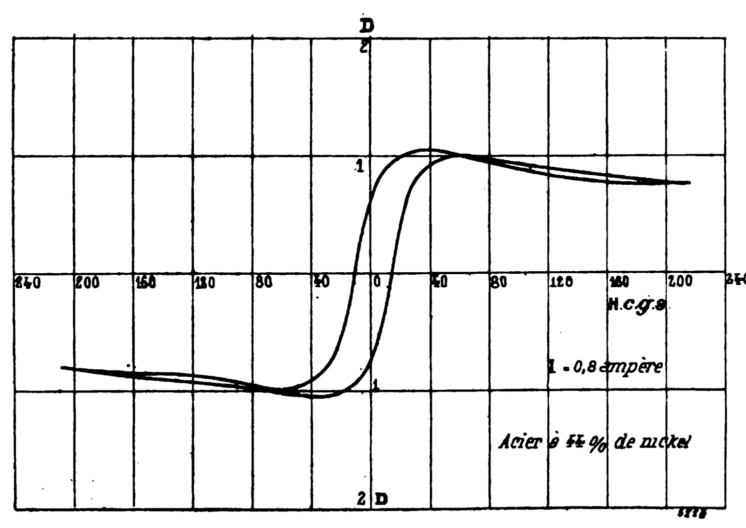


Fig. 8.

D'après cette théorie, un fil aimanté à la fois longitudinalement et circulairement est soumis à un couple de torsion égal à $\pi R^2 \mu'' IH$, R étant le rayon du fil, I l'intensité du courant qui circule dans ce fil et H l'intensité du champ longitudinal auquel il est soumis.

Mais cette théorie n'explique pas les phénomènes d'hystérésis. Elle n'explique pas non plus la différence de torsion observée suivant que le fil est soumis en premier lieu à l'aimantation longitudinale ou à l'aimentation circulaire (1). Wiedemann avait cherché à expliquer les relations entre la torsion et le magnétisme en reprenant l'hypothèse de Weber sur la rotation des molécules. Peut-être conviendrait-il de revenir à quelque hypothèse semblable pour pouvoir expliquer complètement tous ces phénomènes.

Pour ce qui est des aciers au nickel, l'effet Wiedemann, comme l'a fait remarquer M. Guillaume (2), est le seul des phénomènes de magnétostriction présentés par ces alliages qui offre quelque analogie avec les résultats obtenus pour le fer et le nickel.

D'ailleurs, le fait que la torsion est de même sens pour le fer et pour les aciers réversibles, alors qu'elle est de sens inverse pour le nickel, semble en contradiction avec la théorie proposée par M. Dumas, qui attribue au nickel seul, le magnétisme des aciers réversibles.

M. Guillaume avait cherché, par une hypothèse fort ingénieuse, à faire concorder les faits

---

(1) Remarquons que d'après cette théorie un fil aimanté circulairement et tordu d'un angle ω prend une aimantation longitudinale donnant à travers le fil un flux égal à $\frac{\pi}{2} \mu'' \omega \, IR^2$. Or Drude a constaté que cette aimantation était moindre quand on envoyait le courant après avoir tordu le fil que quand on opérait en sens inverse. DRUDE. *Wied. An.*, t. LXIII, p. 9. *L'Éclairage Électrique*, t. XV, p. 33.

(2) GUILLAUME. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 338. *Société de Physique*, séance du 21 mars 1902. *Éclairage Électrique*, t. XXXI, p. 152.



observés et la théorie de Dumas. Mais plus récemment, Osmond [1] a opposé à cette théorie des arguments d'un tout autre ordre et, d'après lui, on ne pourrait attribuer au nickel seul le magnétisme d'aciers réversibles à faible teneur en nickel. En tout cas, il ne semble pas que l'étude des phénomènes de magnétostriction puisse donner des renseignements bien utiles pour trouver les causes des phénomènes obtenus avec les aciers au nickel.

R. Jouaust.
Ancien élève de l'École supérieure d'Électricité.

INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES DES FILATURE ET TISSAGE
DE LA SOCIÉTÉ COTONNIÈRE DE MIRECOURT

Bien que les avantages des transmissions électriques sur les transmissions mécaniques soient aujourd'hui universellement reconnus, diverses circonstances, en particulier le prix élevé des moteurs électriques, la crainte d'un entretien onéreux et l'appréhension d'arrêts intempestifs, ont jusqu'ici retardé le développement des installations électriques dans les filatures et ateliers de tissage. Il nous paraît donc intéressant de donner une description sommaire de la solution adoptée par la Compagnie générale électrique de Nancy pour la commande électrique des métiers et autres machines de l'usine de la Société cotonnière de Mirecourt, solution qui, comme nous allons le voir, a permis de réduire légèrement le prix de revient prévu pour la commande mécanique et d'obtenir un rendement plus élevé qu'avec ce dernier système.

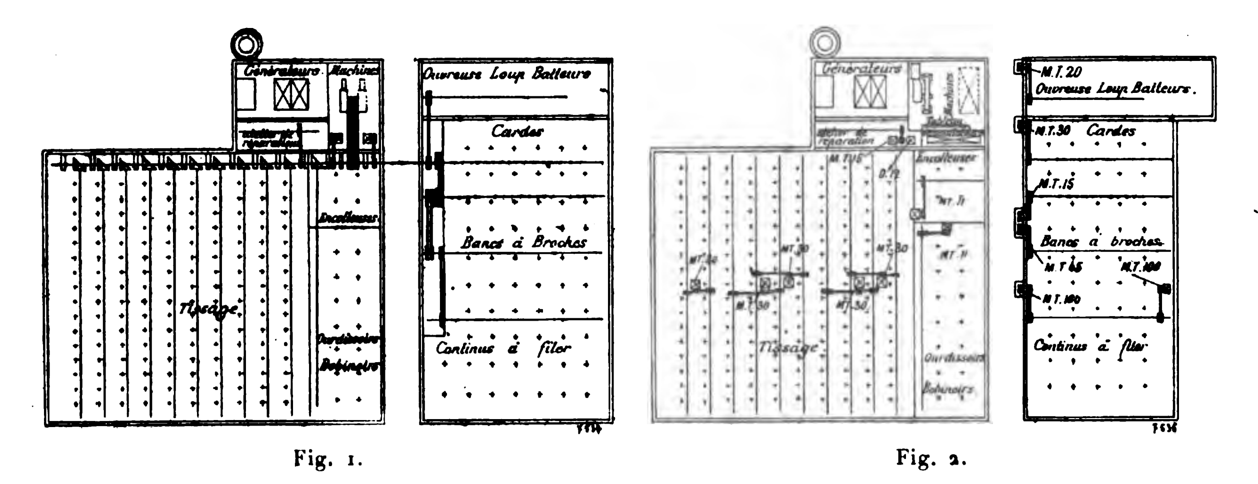


Fig. 1. Fig. 2.

I. Transmission mécanique et transmission électrique. — La figure 1 donne le schéma de la transmission mécanique prévue dans les projets de construction de l'usine. La machine à vapeur figurée est une machine Corliss compound tandem de 600 chevaux, pouvant être jumelée ultérieurement à une machine identique, si le développement de l'usine exigeait une puissance supérieure. Cette machine commandait par câbles une transmission principale placée le long d'un des murs de la salle de tissage et traversait une cour pour

[1] Osmond. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 596. *Éclairage Électrique*, t. XXXI, p. 154.



actionner les appareils de la filature. Dans la salle de tissage, cette transmission commandait, par des engrenages d'angle, des transmissions transversales commandant chacune deux lignes de métiers. Dans les filatures où est utilisée les deux tiers de la puissance totale, l'énergie était transmise aux cardes, bancs à broches, etc., au moyen de câbles.

La figure 2 indique l'installation électrique effectuée par la Compagnie générale de Nancy. On voit que la disposition générale des transmissions secondaires a été maintenue; mais les transmissions principales ont été remplacées par des moteurs électriques recevant leur courant d'un alternateur triphasé commandé directement par une machine à vapeur.

Cette machine à vapeur, à vitesse angulaire plus grande que celle de la machine prévue pour la commande mécanique, est un peu meilleur marché que celle-ci. La suppression du volant, des câbles, de la transmission principale avec ses engrenages, du couloir à câbles de la filature avec ses différents arbres intermédiaires, a permis de réaliser une assez forte économie, à laquelle s'est ajoutée celle provenant de la suppression des piles et de la réduction de puissance des murs soutenant la transmission principale. Tout compte fait, l'installation électrique, malgré la dépense relativement considérable provenant des moteurs, s'est trouvée être un peu plus économique que l'installation mécanique ainsi que l'indique le tableau comparatif suivant :

Machine à vapeur de 500 chevaux effectifs, à 75 t : m avec volant à câbler . . .	65 000 fr.	
Machine à vapeur de 500 chevaux, à 100 t : m, sans volant		50 000
Transmissions, arbres poulies, etc.	50 000	20 000
Mur principal, piles en maçonnerie	15 000	
Câbles de la machine à vapeur et du couloir à câbles	6 000	
Couloir des câbles (250 m²)	10 000	
Dynamo à lumière et sa transmission d'attaque.	7 000	
Alternateur, moteur, canalisations, tableau, montage.		80 000
Accumulateurs	2 440	2 440
Totaux	155 440	152 440

Après la dépense d'établissement, le second point à examiner était le rendement des deux procédés de transmissions. Les pertes par frottement des transmissions mécaniques étant toujours très élevées, il était évident qu'au point de vue du rendement la transmission électrique devait l'emporter sur la transmission mécanique. En l'absence de données certaines sur ces pertes, la Compagnie générale électrique a fait une série d'essais directs dans ses ateliers. De ces essais et des renseignements recueillis dans des filatures et ateliers de tissage à commande mécanique, il résulte que le rendement aurait été au plus de 66,8 p. 100 dans l'usine, considérée dans le cas d'une transmission entièrement mécanique, tandis qu'elle est d'au moins 71,7 p. 100 avec l'installation électrique. La puissance utilisée étant de 465,4 chevaux, la puissance indiquée de la machine à vapeur aurait donc été de $465{,}4 : 0{,}668 = 696$ chevaux dans le premier cas, et sera seulement de $465{,}4 : 0{,}717 = 649$ chevaux dans le second. En admettant une marche en charge de dix heures par jour et une dépense de 0,800 kg de charbon par cheval indiqué, l'économie de charbon se trouve être de $(696 - 649) \times 10 \times 0{,}8 = 376$ kg par jour; en comptant le charbon à 30 fr la tonne, l'économie annuelle se trouve donc être d'environ 3 400 fr pour 300 jours de travail.

II. Description de l'installation. — Cette économie, jointe aux avantages spéciaux de la commande électrique, ayant décidé la Société cotonnière de Mirecourt à adopter le projet de la Compagnie générale électrique, celle-ci procéda à l'installation.



La machine à vapeur, construite par les ateliers de Bischwiller-Thann (Alsace), est du type Corliss, compound, tandem, tournant à la vitesse angulaire de 100 t : m et directement accouplée à un alternateur triphasé.

Cet alternateur (fig. 3), est à induit fixe et à couronne inductrice mobile portant 60 pôles. L'induit est composé de tôles très fines percées de trous ronds tout près du bord intérieur et qui sont maintenues solidement dans une carcase en fonte.

Pour la facilité du transport et du montage, l'induit est formé de 4 parties assemblées par des boulons et pesant chacune 3 600 kg environ. Dans les trous de l'induit se trouve

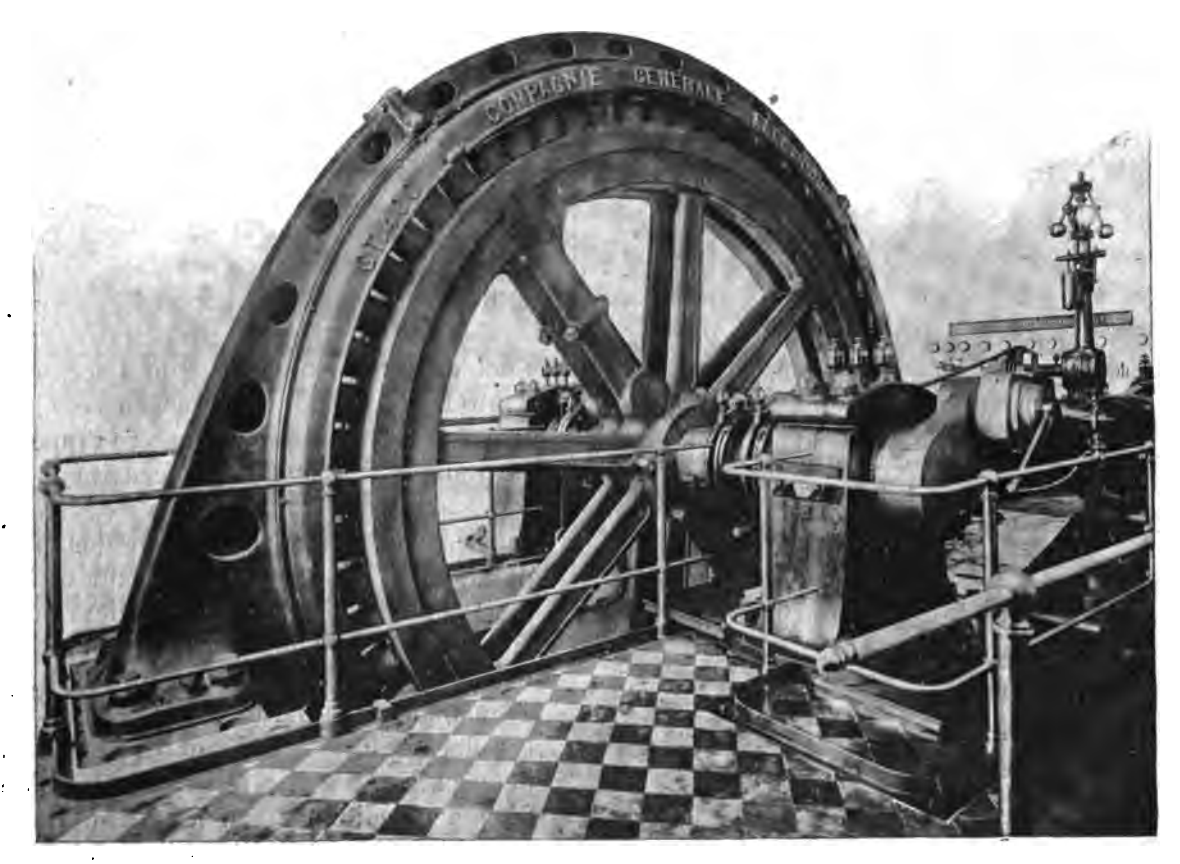


Fig. 3. — Ensemble de l'alternateur G. T. 400.

logé le bobinage composé de bâtons en cuivre rouge de 16 mm de diamètre, reliés en bout par des connexions également en cuivre rouge, de 200 mm² de section. Ce bobinage est soigneusement isolé de la masse par des tubes isolants.

L'inducteur est composé de deux parties pesant chacune 12 tonnes environ. Les deux parties sont assemblées par des boulons et par huit frettes mises à chaud.

Le courant d'excitation est fourni soit par une batterie d'accumulateurs, soit par une excitatrice (fig. 4), commandée par un moteur asynchrone triphasé.

Le courant triphasé à 50 périodes et 400 volts par phase, produit par l'alternateur, est amené au tableau de distribution au moyen de trois câbles armés placés sous le dallage.

Ce tableau (fig. 5) est divisé en plusieurs panneaux sur lesquels les appareils sont répartis d'une façon telle qu'il est impossible de faire une fausse manœuvre.

Du tableau de distribution partent des circuits pour l'éclairage et la force motrice; les

moteurs reçoivent directement le courant de 400 volts produit par l'alternateur, mais les lampes sont groupées en étoile, ce qui permet de brancher, dans chaque phase, 2 lampes en série recevant chacune 230 volts.

Les moteurs sont des moteurs asynchrones triphasés dont la partie mobile est en court-circuit; ils sont donc sans bagues ni balais. Ils sont au nombre de 11, dont 2 de 100 chevaux; la puissance des autres variant de 11 à 45 chevaux.

Fig. 4. — Excitatrice.

Tous les moteurs de la filature (au nombre de 6), sont placés en dehors de la salle, dans de petites constructions très basses, afin d'éviter d'encombrer les passages autours des métiers (fig. 6 et 7). Les interrupteurs et coupe-circuit ont été placés dans des boîtes en tôle. De cette manière, les appareils sont complètement protégés contre la poussière et il est complètement impossible au personnel de mettre la main sur un conducteur ou sur une pièce où il soit susceptible de recevoir une secousse électrique. Par conséquent, sous ce rapport, l'installation présente une sécurité absolue.

Pour le tissage, le moteur des préparations a été logé dans un mur et les moteurs qui actionnent les métiers sont suspendus au plafond et charpente du bâtiment (fig. 8). De cette manière, il n'y a aucune place perdue. Les poulies de ces derniers moteurs sont divisées en deux parties par une saillie en forme de disque et actionnant au moyen de deux courroies, l'une à droite et l'autre à gauche, les arbres des deux lignes de métiers. Cette disposition annule l'effort dû la traction de la courroie, ce qui diminue la traction sur les paliers.

Un dispositif particulier a été adopté pour la commande des interrupteurs qui sont manœuvrés au moyen d'une tringle, absolument comme la fermeture d'une fenêtre. De cette manière, on a évité de descendre à la portée de la main les conducteurs et appareils électriques, ce qui, en dehors des avantages signalés plus haut, présente celui d'une certaine élégance, tandis que l'on aurait eu certainement un effet fort disgracieux en descendant le long d'une colonne n'ayant qu'un diamètre de 20 cm avec 6 câbles de 15 mm de diamètre aboutissant à un interrupteur avec coupe-circuit ayant un encombrement de 50 cm.

III. Mise en marche et fonctionnement de l'installation. — La mise en route de l'installation s'effectue très simplement. On excite d'abord l'alternateur par la batterie avant de mettre en marche la machine à vapeur. Tous les interrupteurs étant fermés, on fait ensuite tourner lentement l'alternateur. Tous les moteurs se mettent en marche à la fois et leur



vitesse s'accélère au fur et à mesure que l'on fait croître la vitesse de la machine à vapeur. Quand celle-ci est à pleine vitesse, toute l'usine est en marche normale. On règle alors l'excitation pour avoir le voltage voulu au tableau et on remplace la batterie par l'excitatrice.

Cette mise en marche s'effectue exactement dans le même temps et dans les mêmes conditions que si toute l'usine était commandée mécaniquement.

S'il arrive un accident à un point quelconque de l'installation, on est obligé, dans le cas de la commande mécanique, d'arrêter toute l'usine, et bien souvent on ne peut la remettre en marche que quand l'accident est réparé; d'où grande perte de temps. Avec la solution qui a été adoptée, il suffit de manœuvrer l'interrupteur du moteur qui commande la transmission où s'est produit l'accident, celle-ci s'arrête, et l'usine continue à tourner comme si de rien n'était. L'interrupteur étant placé auprès de la transmission, la manœuvre se fait immédiatement et bien plus rapidement que s'il avait fallu courir à la salle des machines prévenir le mécanicien, etc. On a tout le temps pour faire la réparation. Quand il faut remettre en marche, à ce moment seulement on arrête l'usine, on ferme l'interrupteur du moteur qui avait dû être arrêté et on met en marche immédiatement. On a donc gagné tout le temps de la réparation et de l'arrêt.

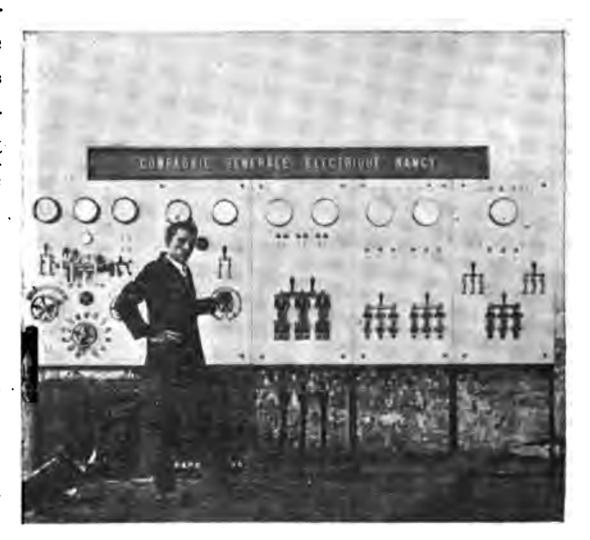


Fig. 5. — Tableau de distribution.

On aurait évidemment pu aller plus loin dans l'application du matériel électrique et adopter des moteurs à induit enroulé avec appareils de démarrage permettant de faire démarrer indépendamment chaque moteur. Dans ce cas, il n'y aurait jamais d'arrêts complets de l'usine, à moins d'accidents à la station génératrice même, ce qui ne peut être que tout à fait exceptionnel. Mais l'emploi de ce matériel se serait surtout traduit par une dépense plus élevée; en outre, les bagues, balais, appareils de démarrage et câbles de connexion, eussent rendu l'installation moins simple que celle adoptée et il en serait résulté une plus grande dépense d'entretien et moins de sécurité. D'autre part, l'avantage qu'aurait présenté l'adoption de cette solution ne paraît pas très important, car étant donnée la fabrication simple et robuste du matériel électrique, les soins méticuleux qui ont été apportés à son installation, il semble certain que, du côté électrique, il n'y a pour ainsi dire aucune chance d'accident à prévoir. Quant à ceux qui peuvent se produire sur les métiers ou sur les machines de la filature, ils ne peuvent être qu'extrêmement rares; la dépense de moteurs à induit enroulé ne serait donc nullement justifiée.

La solution adoptée par la Compagnie générale électrique de Nancy, réalisant le maximum de simplicité et d'économie et excluant toute chance de dépenses exagérées d'entretien, de réparations, de main-d'œuvre, etc., est donc celle qui paraît le mieux convenir aux filatures et ateliers de tissage. Le système de démarrage simultané de tous les moteurs par la mise en marche de l'alternateur excité séparément, présente tous les avantages de la commande mécanique avec la faculté supplémentaire d'arrêter instantanément chaque moteur en cas d'accident ou de besoin.



Quant à l'inconvénient d'exiger l'arrêt préalable de la machine à vapeur pour la remise en marche, il se présente également dans une transmission mécanique lorsqu'on est obligé

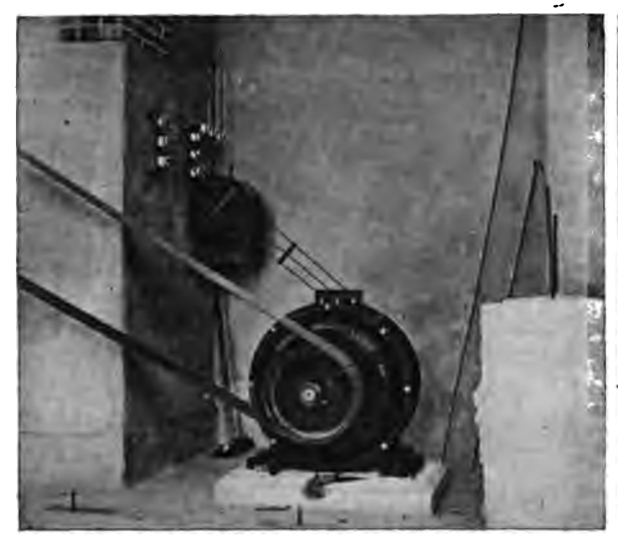


Fig. 6. — Un des deux moteurs de 100 chevaux de la filature.



Fig. 7. — Moteur de 30 chevaux des cardes de la filature.

de remettre une courroie, et comme en pratique tous les moteurs marchent simultanément,

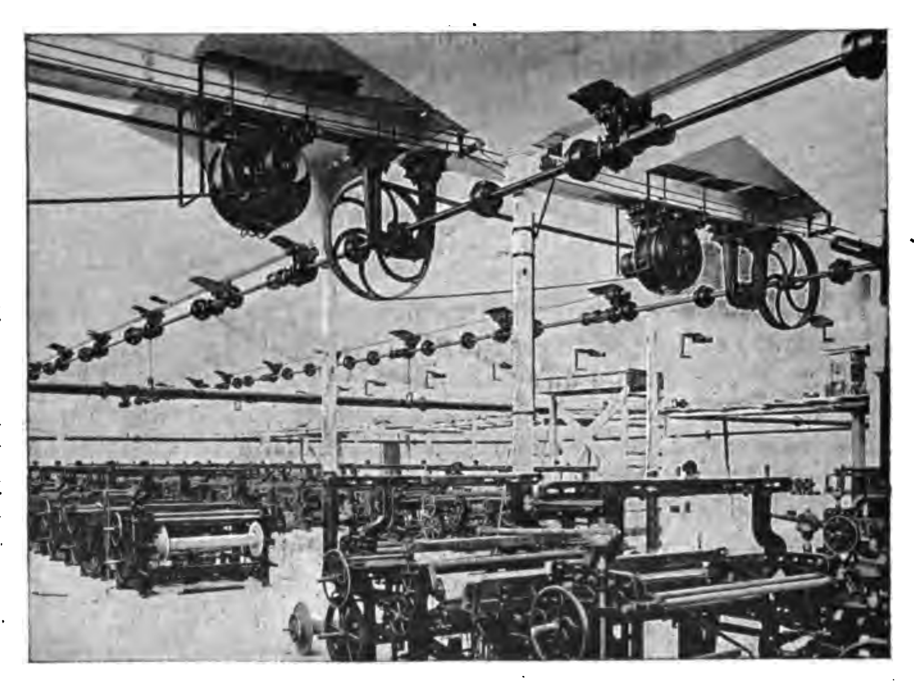


Fig. 8. — Moteurs de 30 chevaux fixés à la charpente de l'atelier de tissage.

cet inconvénient est très négligeable; il l'est d'autant plus que la plupart des arrêts qui se présentent, dans le cas de la commande par transmissions mécaniques, proviennent préci-



sément d'un organe intermédiaire de cette transmission : d'un palier qui chauffe, d'un câble qui se détend ou d'une courroie qui glisse.

D'ailleurs, depuis le 28 mai 1902, que l'installation a été mise en marche, son fonctionnement a donné toute satisfaction.

J. Reyval.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

Perfectionnements aux accumulateurs, par **Porter**. — Brevet français n° 319764, du 19 mars 1902. Brevet anglais 6478, du 17 mars 1902.

La figure 1 est une vue perspective de la plaque à grille partiellement dans son enveloppe ; la figure 2 représente une vue perspective d'une partie des parois de la couverture ou gaîne de la plaque montrant ses perforations. La figure 3 montre une vue perspective d'un protecteur ou sabot de plaque. En figure 4, on a représenté une coupe transversale détaillée d'une plaque complètement assemblée.

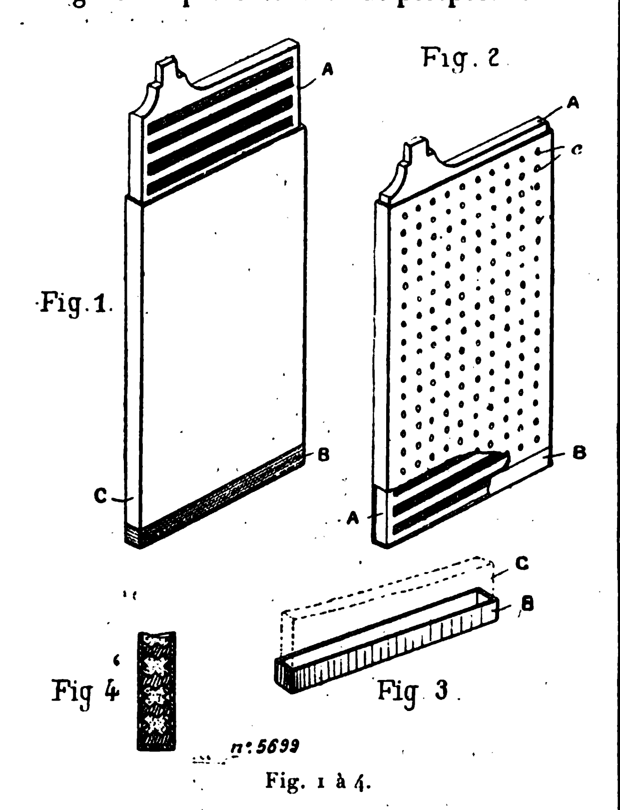


Fig. 1 à 4.

A est une grille de forme quelconque, ayant de préférence des nervures ou côtes en forme de W (voir fig. 4) ; B est un sabot isolant en caoutchouc dur ; C est l'enveloppe ou gaîne en métal, plomb ou alliage de plomb non oxydable. La plaque doit entrer avec un jeu très faible dans cette enveloppe. Le sabot B doit s'emboîter sans jeu sur la grille et le bord inférieur de la gaîne C doit reposer sur l'auge ou sabot B. L'enveloppe est particulièrement employée sur les positives. La plaque A est empâtée, puis mise sous l'enveloppe C, et le tout est porté sous une presse au moyen de laquelle on perce des trous *c*, de façon que les ébarbures du métal soient enfoncées dans la matière active. On assure ainsi un contact intime entre la plaque et sa gaîne. La plaque est ensuite formée. Pour le montage des plaques dans le bac, on emploie de préférence, comme séparateurs, des feuilles perforées en matière isolante et possédant des nervures permettant la circulation de l'acide et le dégagement des gaz. Aucun rebord du séparateur ne peut permettre ainsi d'offrir un logement à la matière active, qui tombe, et les courts-circuits dûs à ce fait sont rendus impossibles. Les plaques reposent par leurs sabots sur des tasseaux en matière isolante placés au fond du bac.

L. J.

DISTRIBUTION

Système J.-S. Highfield de régulation de la tension dans les conducteurs de distribution. *Elektrotechnische Rundschau*, t. XX, p. 51, 1er décembre 1902.

Dans une station centrale à courant continu avec batterie d'accumulateurs, on dispose, pour compenser les variations de la tension, une dynamo qui est en série avec la batterie.

Le courant qui traverse l'induit de cette

génératrice auxiliaire est réglé au moyen de deux enroulements d'excitation, l'un est traversé par le courant principal de la distribution, l'autre est branché aux bornes de la batterie. Au moyen d'un commutateur formant inverseur, on peut modifier dans ce dernier enroulement la direction du courant et son intensité, ce qui permet une régulation partiellement automatique de la tension et améliore le rendement de la génératrice auxiliaire.

La tension de l'induit de cette génératrice doit suivre autant que possible l'aimantation des deux euroulements ; à cet effet les conducteurs sont faiblement saturés et l'entrefer est assez large pour éviter la réaction d'induit.

La disposition relative à un système à trois fils est la suivante : deux génératrices auxiliaires correspondent aux deux moitiés de la batterie, elles sont actionnées par un double moteur ou par un moteur séparé pour chacune d'elles.

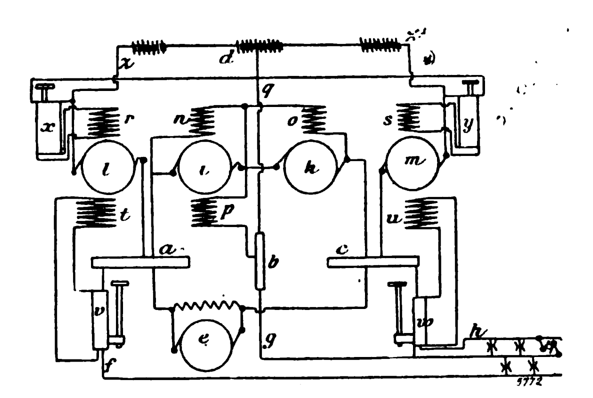


Fig. 1. — Régulation de tension pour système à 3 fils.

a, *b*, *c* (fig. 1) sont les trois barres de départ de la distribution, *b* correspond au milieu de la batterie *d*; *f*, *g* et *h* sont les trois fils du système ; *i* et *k* les induits du double moteur, et *l* et *m* ceux des deux génératrices auxiliaires.

n et *o* sont les inducteurs du double moteur, ils sont en série entre les conducteurs extrêmes; *p* est un enroulement inducteur spécial à *i* et traversé par une partie du courant en excès d'un côté sur l'autre du système, il sert à maintenir l'égalité entre les tensions des courants qui traversent les induits *i* et *k*.

Le courant de la batterie traverse les induits *l* et *m* avant d'atteindre les barres de distribution *a* et *c*; le milieu de la batterie est relié par le conducteur *q* au conducteur neutre *gb*. Les inducteurs des génératrices auxiliaires comportent les enroulements en fil fin *r* et *s*, branchés chacun entre le milieu de la batterie et l'un des pôles extrêmes z et z_1 par l'intermédiaire des commutateurs inverseurs *x*, *y*; les inducteurs comportent, en outre, les enroulements à gros fil *t* et *u* en dérivation sur les résistances réglables *v* et *w* insérées sur les conducteurs extrêmes.

Les enroulements *t* et *u* sont calculés de telle sorte que lorsque la quantité de courant maxima les traverse, les induits *l* et *m* élèvent la tension de la batterie à celle du réseau.

La batterie ne fournit la tension nécessaire que si elle est complètement chargée et si le débit est faible ; sa tension décroît si la charge croît. Si, au début, la batterie suffit sans l'emploi du générateur *e*, les commutateurs *x* et *y* reliés mécaniquement sont disposés de telle sorte qu'aucun courant ne traverse *r* et *s*, pendant que les rhéostats *v* et *w* reliés aussi mécaniquement sont disposés de façon que le courant qui traverse *t* et *u*, soit minimum.

A mesure que la charge du réseau augmente, le courant d'excitation en *t* et *u* croît et les induits *l* et *m* compensent la chute de tension de la batterie résultant de la charge plus grande du réseau. La régulation est automatique si l'on a primitivement réglé *v* et *u*, ce qui se peut faire pour une installation déterminée.

Si la continuation de la décharge nécessite un nouveau réglage, on peut disposer les commutateurs *x* et *y*, de façon que le courant qui traverse alors *r* et *s* ajoute son action à celle de *t* et *u*.

Si la batterie est déchargée, on met la génératrice *e* en serivce sur *a* et *c*, quand elle est arrivée à pleine tension, on manœuvre les commutateurs *x* et *y*, de façon que le courant de *r* et *s* agisse en sens inverse de celui de *t* et *u*. Les tensions des induits *l* et *m* prennent des signes opposés et le courant traverse la batterie. A mesure que la tension de la batterie s'élève, le courant augmente aussi dans *r* et *s*. L'élévation de tension de *l* et *m*, nécessaire pour la charge de la batterie, a lieu automatiquement.

Si une surcharge se produit brusquement dans le réseau, le courant des enroulements *t* et *u* affaiblit l'action de celui de *r* et *s*, le courant de charge diminue et la génératrice est



déchargée d'autant, et peut, par suite, débiter davantage sur le réseau. Quand la charge du réseau dépasse le débit de la génératrice, on renverse les inverseurs *x* et *y* et l'on fait débiter la batterie sur le réseau. Si la charge augmente encore, on peut mettre en marche d'autres génératrices. Ces dispositions permettent de faire toujours travailler les génératrices à pleine charge et d'obtenir une bonne régulation de la tension.

G. G.

TRACTION

Sur un nouveau dispositif de protection pour voiture de tramway, par **A. Seyferth**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 936, 23 octobre 1902.

Ce dispositif, inventé par l'ingénieur Grampe de la Rheinische Bahngesellschaft à Düsseldorf, est représenté en coupe longitudinale dans la figure 1, et en plan dans la figure 2.

Les parties essentielles sont : un amortisseur de choc *a*, un tablier *b*, un filet *c* et un commutateur de moteur *d*.

L'amortisseur *a* est fixé à l'avant de la plateforme antérieure, à un cylindre *e* monté sur des ressorts. Sa partie inférieure repose sur la tige *f*, à laquelle est suspendu aussi le tablier *b*. La tige *f* repose sur les têtes formant paliers des guides *g*, mobiles dans des coulisses *h*, fixées sous les longerons de la voiture : les ressorts à boudin *i* servent à adoucir le choc contre l'amortisseur *a*.

Le filet *c* est placé sous le véhicule en avant des roues, fixé à l'arbre *k*, avec lequel il est mobile dans les paliers *l*; cet arbre est actionné, en même temps que le filet *c*, par les leviers *m*, les tiges *n*, et les doubles leviers $p\,p_1$, mobiles au-

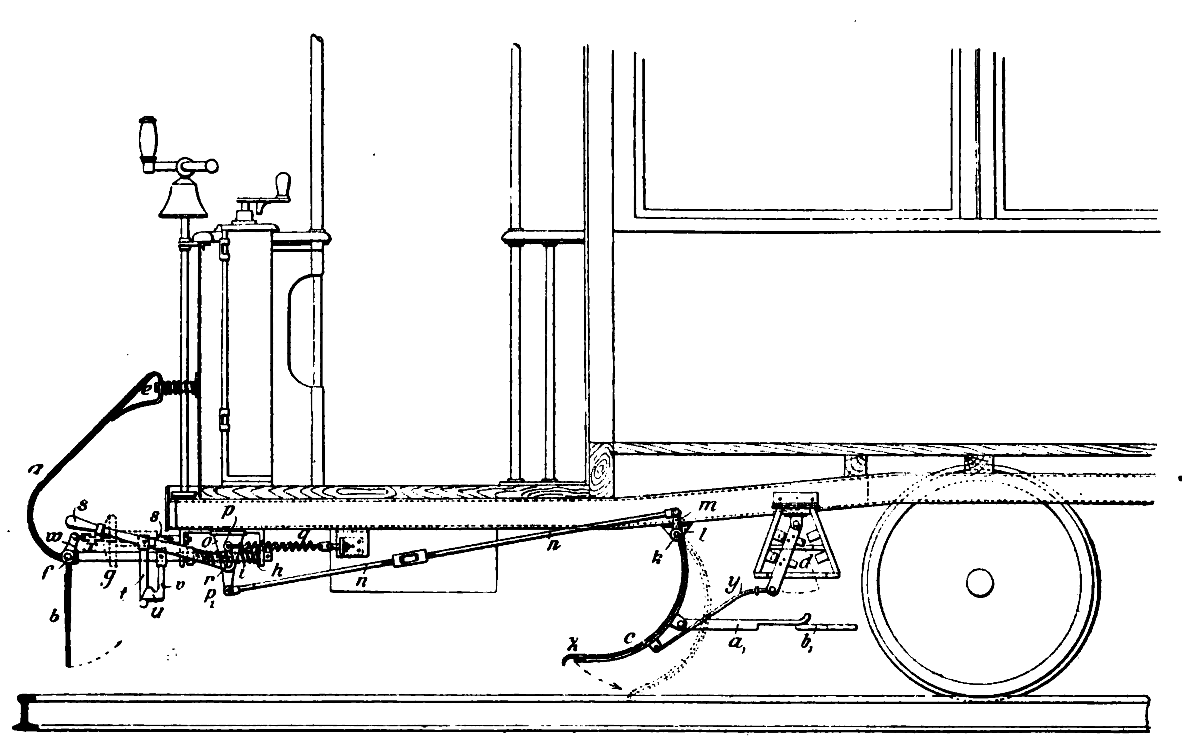


Fig. 1.

tour de *o*. Sur l'axe *r*, solidaire de $p\,p_1$, se trouve le dispositif de relevage du filet, comprenant les leviers à poignée *s*, reliés par la traverse *t*, qui, pour le filet relevé, est maintenue dans sa position inférieure par la touche *u*, fixée à une traverse *v* reliant les tiges *g*. Quand les tiges *g* reculent sous l'influence d'un choc, entraînant en même temps la touche *u*, le filet s'abaisse sous l'action des ressorts *q*, agissant sur le levier *p*. Sur la tige *f*, se trouvent encore placés les leviers *w*, reliés par des chaînes aux coulisses *h*. L'abaissement du filet actionne par l'in-



termédiaire de la tige y, le commutateur d ; a_1 et b_1 constituent un limiteur de course en arrière du filet, z, une bande de feutre ou de cuir qui vient frotter sur le rail, et empêche la détérioration du filet.

A l'arrivée au terminus, on enlève, pour les changer de côté, l'amortisseur a, le tablier b, la tige f avec les têtes des tiges de guide g, les leviers w et les chaînes x.

Voici maintenant le fonctionnement de l'appareil : Si une personne se trouve en danger sur la voie, elle peut ou bien conservant sa présence d'esprit se cramponner à la voiture, en ne recevant qu'un choc adouci par l'amortisseur a, lequel choc a d'ailleurs pour résultat de déclencher, comme on l'a vu, le filet c, et d'actionner en même temps le commutateur d qui coupe le circuit du moteur et le met en court-circuit, en même temps que des sablières entrent en fonctionnement pour assurer un bon freinage, ou bien tomber sur la voie, où elle est heurtée par le tablier b, qui assure aussi bien que l'amortisseur a le déclenchement du filet et le fonctionnement du commutateur. Une personne se

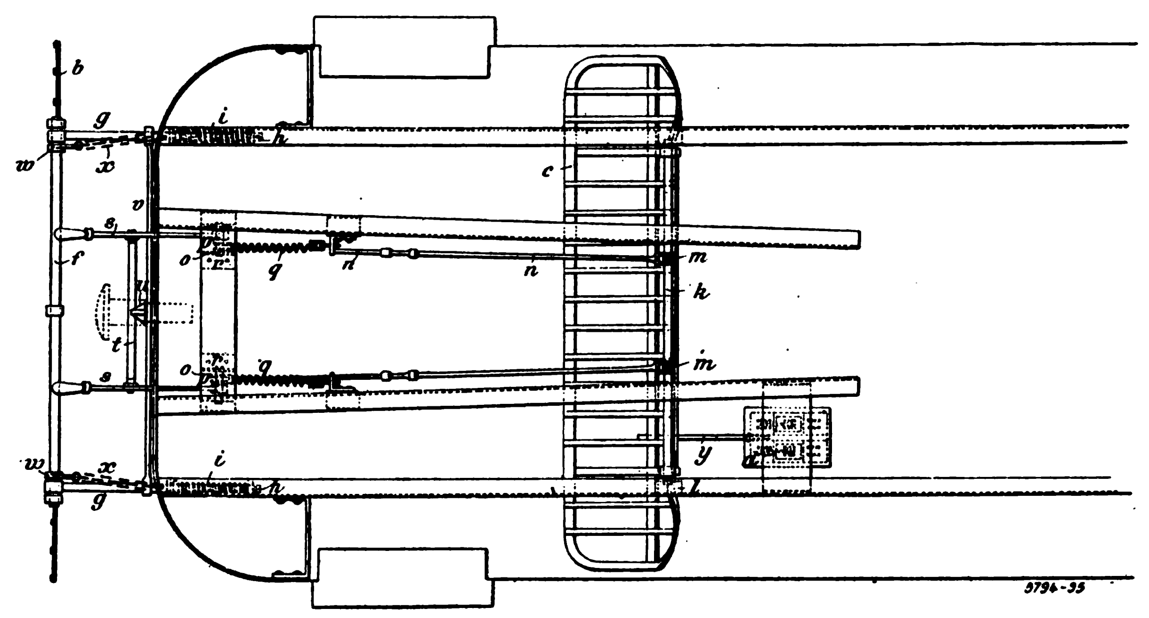


Fig. 2.

trouvant couchée sur la voie, détermine la même marche de l'appareil, dont le déclenchement est alors effectué par le seul tablier b.

Ce dispositif paraît très sûr, et a l'avantage de n'exiger aucune intervention du conducteur : il a été expérimenté sur les voitures du tramway circulaire de l'exposition de Düsseldorf.

A. M.

MESURES

Mesure exacte des grandes différences de phase, par **Max Breslauer**. *Zeitschrift für Elektrotechnik*, t. XX, p. 52-57, février 1902 [1].

La méthode des trois voltmètres employée habituellement pour mesurer les différences de phase comporte des erreurs considérables quand ces différences de phase sont grandes. Une erreur de lecture sur les appareils de 1 p. 100 entraîne des différences de 20 p. 100 sur la puissance [1].

[1] Cf. *L'Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 116, avril 1902.

Deux fautes d'impression se sont glissées dans les formules qui figurent dans ce dernier article. Il faut lire :

$$e_d^2 = E^2 + \varepsilon^2 - 2E\varepsilon \cos \varphi.$$
$$e_s^2 - e_d^2 = 4E\varepsilon \cos \varphi.$$

[1] Soit E la différence de potentiel aux bornes de l'appareil A dont on veut déterminer la puissance, ε, la différence de potentiel entre les extrémités d'une résistance r sans induction en série avec cet appareil, e_s la différence totale entre les bornes extrêmes, i l'intensité du courant ; on a :

$$ir = e$$
$$e_s^2 = E^2 + \varepsilon^2 - 2E\varepsilon \cos (180 - \varphi),$$

On obtient une précision un peu meilleure en mesurant, non plus la somme e_s des deux différences de potentiel, mais leur différence.

$$e_d^2 = E^2 + \varepsilon^2 - 2E\varepsilon \cos \varphi.$$

Une amélioration plus grande consiste à combiner les deux méthodes, en mesurant seulement e_s^2 et e_d^2. On a, en effet,

$$e_s^2 - e_d^2 = 4E\varepsilon \cos \varphi = 4rEi \cos \varphi$$

$$W = \frac{e_s^2 - e_d^2}{4r}$$

Une erreur de lecture de 1 p. 100 n'entraîne plus qu'une erreur de 10 p. 100 sur la puissance. En outre, le nombre des lectures se trouve réduit à deux.

La précision relative est la plus grande lorsque :

$$\frac{e_s^2 - e_d^2}{e_s^2} = \max,$$

ce qui correspond à

$$E = \varepsilon$$

On se place donc dans les conditions les plus favorables en disposant de la résistance sans induction auxiliaire, de manière que la différence de potentiel entre ses bornes soit la même que dans l'appareil A.

La précision relative est alors de 18 p. 100 de e_s^2, pour $\cos \varphi = 0,1$: c'est-à-dire qu'on peut utiliser 18 p. 100 de l'étendue de l'échelle et dans la partie supérieure, là où les lectures sont le plus sûres.

Pour déterminer la différence e_d, il faut un voltmètre différentiel. On obtient aisément un instrument de ce genre, en déroulant la bobine d'un voltmètre à noyau de fer mobile et l'enroulant de nouveau après avoir replié le fil par moitiés. Les deux bobines obtenues ont même résistance et même action sur le noyau, et aussi la même induction propre.

si φ est la différence de phase ; d'où

$$\cos \varphi = \frac{e_s^2 - E^2 - \varepsilon^2}{2E\varepsilon}$$

Le travail W dépensé dans l'appareil A est par suite :

$$W = \frac{1}{2r}(e_s^2 - E^2 - \varepsilon^2)$$

La figure 1 indique le schéma des connexions; l'une des bobines est reliée aux extrémités de la résistance r sans induction. Elle est traversée par un courant en concordance de phase avec le courant principal et dont l'intensité est pro-

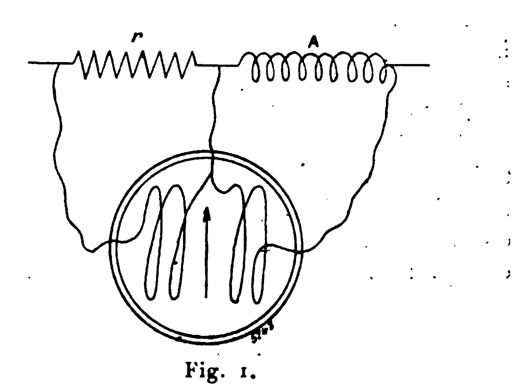


Fig. 1.

portionnelle à l'intensité de ce dernier. L'autre bobine, reliée aux extrémités de l'appareil A, indique la différence de potentiel décalée par rapport au courant principal. En échangeant les bornes de l'une des bobines, on peut mesurer successivement e_s ou e_d.

Sous cette forme, le voltmètre différentiel a l'inconvénient d'absorber par lui même une puissance notable, ce qui oblige à employer une résistance auxiliaire considérable.

On peut éviter cette difficulté en remplaçant l'une des bobines par une autre avec spires de gros fil, dans laquelle on puisse faire passer le courant principal sans chute de tension notable. L'instrument est alors transformé en vattmètre et gagne beaucoup en sensibilité. C'est alors un voltmètre dont l'une des bobines est parcourue par le courant principal, l'autre par un courant dérivé; en choisissant les connexions convenables, ce courant dérivé agira sur le noyau dans le même sens que le courant principal ou en sens contraire [1].

[1] L'effet résultant dépend de la somme ou de la différence géométrique des ampères-tours des deux bobines.

Soient i_p et i_d les intensités du courant principal et du courant dérivé, n_p n_s les nombres de tours de fils correspondants. Les équations ci-dessus relatives aux différences de potentiel deviennent :

$$(AW_s)^2 = (i_p n_p)^2 + (i_d n_d)^2 + 2(i_p n_p)(i_d n_d) \cos \varphi$$
$$(AW_d)^2 = (i_p n_p)^2 + (i_d n_d)^2 - 2(i_p n_p)(i_d n_d) \cos \varphi,$$

d'où

$$(AW_s)^2 - (AW_d)^2 = 4(i_p n_p)(i_d n_d) \cos \varphi,$$

Il est évident que le décalage du courant dans la bobine en dérivation nécessite aussi une correction, plus faible d'ailleurs que dans les wattmètres usuels. Ainsi pour cos $\varphi = 0,1$, cette correction ne dépasse pas 2,4 p. 100.

En lestant l'équipage du voltmètre de manière à recouvrir l'échelle, on obtient des mesures extrêmement précises.

L'auteur a vérifié l'exactitude de la méthode en l'appliquant à la mesure du travail d'aimantation : cos φ variant de 0,38 à 0,72, il a obtenu pour le coefficient η de Steinmetz des valeurs qui ne diffèrent pas de leur moyenne de plus de 6 p. 100.

M. L.

ou encore, puisque

$$i_n = \frac{E}{r_n} \text{ et } W = i_p E \cos \varphi,$$

$$W = \frac{r}{4 n_p n_d} [(AW_s)^2 - (AW_d)^2]$$

comme

$$i_d n_d = \frac{e}{r_d} n_d$$

on tire aisément de là :

$$L = \frac{r_d}{4 r_p n_d} (e_s^2 - e_d^2) = \lambda (e_s^2 - e_d^2).$$

L'appareil étant gradué en volts, il suffit, pour le transformer en wattmètre, de connaitre le facteur de réduction, λ; ce facteur dépend du nombre d'ampères-tours des deux bobines et de la résistance de la dérivation.

DIVERS

Intensité du courant et hauteur du son dans les arcs voltaïques chantants, par **F.-K.-A. Wertheim-Salomonson.** *Versl. Kon. Akad. Wet. Amsterdam.* Séance du 25 octobre, p. 381-391, 1902.

Au courant de ses recherches sur les effets physiologiques des courants alternatifs à fréquence très élevée, l'auteur a été amené à utiliser les courants alternatifs produits au moyen de l'arc voltaïque chantant de Duddell. On sait que dans ce phénomène, il s'agit d'un arc ordinaire passant entre deux pointes en charbon *homogènes*, mises en court-circuit à travers un condensateur et une résistance à self-induction.

D'après Duddell, la fréquence des courants alternatifs auxquels cet arc donne lieu et qui déterminent la hauteur des sons, serait fonction exclusive de la self-induction et de la capacité, suivant la formule bien connue $n = 2\pi\sqrt{CL}$. Aussi plusieurs physiciens ont-ils proposé d'employer l'arc chantant à mesurer les petits coefficients de self-induction.

Or, l'auteur démontre qu'en dehors de la self-induction, de la capacité et de la résistance, *l'intensité du courant continu* alimentant l'arc exerce une influence considérable

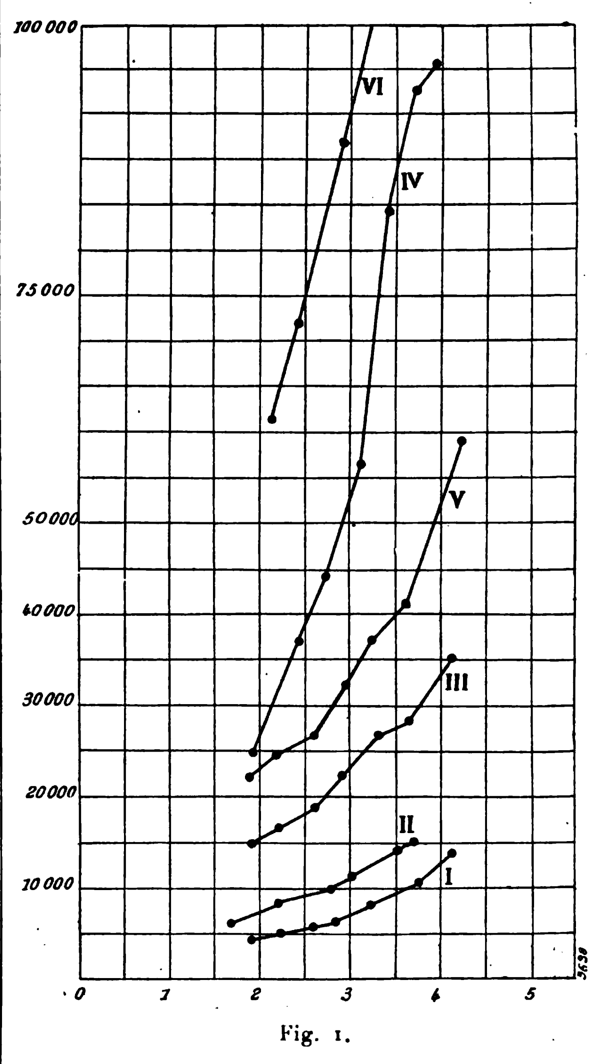


Fig. 1.

sur la fréquence de ces courants alternés, que, par conséquent, l'emploi proposé par ces expérimentateurs n'est pas légitime, du moins sous la forme indiquée.

La méthode dont se sert M. Salomonson a été, pour la première fois, décrite par M. Peukert ; elle consiste à déterminer la tension aux pointes de charbon, au moyen d'un voltmètre répondant exclusivement aux courants continus, un instrument Weston par exemple. En même temps, on



mesure cette tension par un instrument donnant la valeur de $\frac{1}{\tau}\int_0^\tau E^2\,dt$, tel que le voltmètre à fil chaud. Enfin, on détermine, au moyen d'un ampèremètre thermique, l'intensité du courant traversant le condensateur. Soient ces 3 lectures respectivement E_1, E_2 et I_2 ; la capacité du condensateur étant $= C$, la fréquence sera donnée par

$$n = \frac{I_2}{2\pi C\sqrt{E_2^2 - E_1^2}}$$

Parmi les tables où l'auteur résume les résultats de ces expériences, choisissons l'une quelconque. On y trouvera en dehors de E_1, E_2 et I_2 les valeurs I_1 de l'intensité du courant continu primaire, E_a les tensions calculées du courant alternatif E_a, et le nombre p, de périodes par seconde, du courant alternatif, calculé d'après la formule de Peukert. La capacité du condensateur était de 1 microfarad, et la self-induction était fournie par une bobine contenant 40 tours de fil de 3,5 mm de diamètre, en 2 couches, le diamètre extérieur de la bobine étant de 3,5 cm, sa longueur de 8 cm.

I_1	E_1	E_2	E_a	I_2	p
2,1	35	50	35,7	4,1	61 300
2,4	36	47,5	31	4,2	71 900
2,9	35	42	23,2	4	91 600
3,6	36	40,2	17,9	4,4	1 30 000
4,2	35	36,3	9,75	3,6	1 96 000

Il résulte de cette table que l'auteur a réussi à dépasser la limite de perceptibilité correspondant à une fréquence d'environ 40 000 périodes.

Quant à l'origine de cette augmentation de la fréquence accompagnant l'accroissement de l'intensité du courant, M. Salomonson fait remarquer l'analogie avec les phénomènes présentés par les diapasons électromagnétiques, dont le son s'élève également, en même temps que le courant augmente d'intensité. Cette analogie suggère la conclusion que, dans le cas des grandes intensités de courant, le système électrique composé d'une capacité et d'une résistance ne rend plus son propre son, celui-ci n'étant observé que pour une intensité infiniment petite du courant continu.

L'auteur a également étudié l'influence exercée sur la fréquence par la tension de l'arc voltaïque ; il paraît que l'abaissement des sons constaté pour une augmentation de cette dernière correspond presque entièrement à la diminution de l'intensité du courant entraînée par l'accroissement de la tension. Cependant l'on observe également un abaissement du son, si, tout en maintenant constante l'intensité, la tension du courant est seule augmentée. Dans ce cas, l'auteur constate aussi une variation de l'*intensité* du son, manifestée en même temps par une variation correspondante de l'intensité du courant alterné.

Les courbes de la figure 1 représentent les relations entre la hauteur du son et l'intensité du courant primaire, que l'on a portée en abscisses. Le tracé N correspond à la série résumée dans la table ci-dessus. L'auteur trouve que les phénomènes sont représentés, à quelques pour cent près, par une formule empirique de la forme

$$\log p = a + bI,$$

p étant la fréquence, I l'intensité du courant, a et b des constantes. Il ne réussit pas à déterminer la hauteur du son, au moyen des figures de Kundt, en raison probablement de leur intensité peu considérable.

A. GRADENWITZ.

Nature de la conductibilité électrique dans les conducteurs électrolytiques incandescents, par **E. Bose**. *Drude's Annalen*, t. IX, p. 164-184, sept. 1902.

Les filaments des lampes Nernst doivent être considérés comme des dissolutions solides d'un ou plusieurs oxydes métalliques dans un autre. Par analogie avec ce qui se passe dans les dissolutions liquides, on doit prévoir que ces filaments ne peuvent conserver une composition constante qu'en étant traversés par des courants alternatifs. Un courant continu devrait les détruire en quelques minutes. Cependant, l'expérience prouve qu'ils peuvent supporter un tel courant pendant un temps en réalité beaucoup plus long, des centaines d'heures. Si donc le passage du courant dans le filament est dû à une électrolyse, il faut qu'il y ait un autre phénomène tendant à le régénérer. Nernst suppose qu'il se produit une dépolarisation par diffusion analogue à celle qu'on observe dans les disso-



lutions électrolytiques. Il est probable que dans les oxydes qui constituent le filament, la vitesse du cathion est plus faible de beaucoup que la vitesse de l'anion. Le passage du courant serait donc assuré, pour la plus grande part, par les ions d'oxygène, tandis que les ions de métal ne se déplacent pas d'une manière sensible. Mais l'oxygène libéré à l'anode se diffuse dans l'intérieur du filament et arrive jusqu'à la cathode, où il régénère l'oxyde. On comprend ainsi pourquoi la durée du filament est beaucoup plus grande dans l'air libre que dans le vide.

Si on fait le vide dans l'ampoule qui entoure le filament, pendant que celui-ci est porté à l'incandescence par le courant, on observe que le filament devient de plus en plus conducteur à mesure qu'on pousse la raréfaction [1].

Cet accroissement de conductibilité est très considérable (de 1 à 10) ; il est lié à une modification du filament. Lorsque le filament a été maintenu pendant un certain temps à l'incandescence, dans le vide, et qu'on l'a laissé se refroidir dans le vide, son aspect extérieur a changé. Du blanc pur, la couleur de la surface est passée au gris foncé et même au noir, en prenant un éclat métallique.

Si on porte le filament ainsi modifié à l'incandescence dans l'air, il reprend peu à peu sa couleur blanche primitive et en même temps sa résistance. Le changement d'aspect est donc directement lié au changement de résistance ; on ne l'observe pas d'autre part, quand on laisse le filament se refroidir dans l'air. Dans le vide, il se produit donc une réduction des oxydes et dans l'air le métal s'oxyde de nouveau [1].

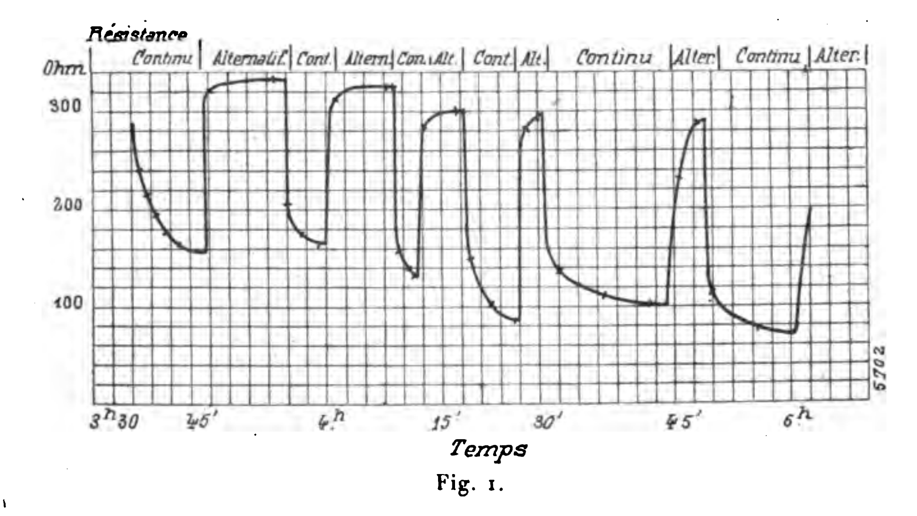


Fig. 1.

Le métal séparé à la cathode, et qui ne peut se réoxyder immédiatement, forme une masse plus conductrice et qui, par suite, s'échauffe moins par le passage du courant. Il en résulte une diminution dans le rendement lumineux.

On a observé aussi que la durée du filament est de beaucoup abrégée par les inversions de pôles. Le métal, réduit d'abord, augmente de volume par l'oxydation et provoque la rupture de la masse d'oxyde.

Quand on fait fonctionner la pompe d'une manière continue pendant l'incandescence du

(1) A ce phénomène en correspond un autre qui paraît présenter un grand intérêt théorique. Quand le filament est froid, on obtient dans l'ampoule un vide tel, que la fluorescence due aux rayons cathodiques soit visible. Si le filament est incandescent, on ne réussit plus à diminuer la pression assez pour faire disparaître la lumière bleue. Il se produit donc un dégagement de gaz et ce gaz est dû à l'électrolyse : on ne l'observe pas en effet lorsqu'on emploie des courants alternatifs. Il ne semble donc pas que l'oxyde soit dissocié par l'action de la température, ou tout au moins cette dissociation n'entre que pour une faible partie dans le phénomène observé : la tension de dissociation de l'oxygène est inférieure à la pression correspondant au vide de Crookes.

(1) Cet accroissement de conductibilité ne résulte pas de l'élévation de température. En intercalant dans le circuit un rhéostat qui permet de maintenir l'intensité à peu près constante, on constate que la différence de potentiel entre les extrémités du filament baisse rapidement. En même temps, la consommation d'énergie diminue et le filament devient rouge sombre. Si on laisse rentrer de l'air, aussitôt il reprend son état primitif et l'intensité comme la différence de potentiel reprennent leurs valeurs.



filament, on diminue la quantité d'oxygène contenue dans l'ampoule et il arrive que l'oxygène n'est plus en quantité suffisante pour réparer la réduction due à l'électrolyse ; on ne revient plus aux valeurs normales de la différence de potentiel et de l'intensité. Les courbes des figures 1 et 2 représentent la variation de la résistance lorsqu'on substitue rapidement le courant alternatif au courant continu.

Dans une atmosphère d'hydrogène, il ne se produit aucune réduction sensible, contrairement à ce qu'on aurait pu supposer : la consommation d'énergie augmente par suite de la conductibilité calorifique de l'hydrogène [1]. M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS

Section de Glasgow

Séance du 12 novembre 1902.

Le calcul des dynamos à courant continu. Adresse inaugurale prononcée par **Henry A. Mavor**.

Dans cette communication, l'auteur se propose non pas d'exposer de nouvelles théories, mais d'appliquer à la construction des dynamos les résultats de calculs et de recherches déjà connus. Se référant à la communication qu'il a présentée en 1901 à l'International Engineering Congress de Glasgow, il fait remarquer que la partie essentielle d'une dynamo est la région occupée par les conducteurs induits dans le champ magnétique et propose pour cette région, limitée par la surface périphérique de l'armature, la surface du noyau à la base des encoches et les extrémités du noyau, le nom de « zone active ». Des machines très différentes par les dimensions, la puissance et la vitesse donnent pour la puissance engendrée par centimètre cube de zone active, à l'unité de vitesse et dans le champ unité, une valeur remarquablement constante. Cette valeur déjà citée dans la précédente communication de l'auteur et confirmée dans celle de M. Silvanus P. Thompson à la British Association, est de 5 ergs par seconde [1] ; elle est d'ailleurs souvent dépassée, mais il est bon de s'y tenir en vue de la sécurité de fonctionnement.

L'étude des machines de faibles dimensions par la même méthode a montré que ce chiffre doit être dans leur cas profondément modifié, les pertes dans l'induit étant relativement plus importantes que dans les grandes machines. Si l'on restreint son attention à l'induit, les points les plus intéressants dans la construction sont relatifs à la commutation et à la limite d'échauffement imposée. Pour la commutation dans les petites machines, l'auteur renvoie à sa précédente communication [2]. Quant à l'échauffement de l'induit, il est dû à l'énergie dissipée de la manière suivante :

1° Hystérésis dans le noyau ;
2° Courants de Foucault dans le noyau ;
3° Hystérésis dans les dents ;
4° Courants de Foucault dans les dents ;
5° Courants de Foucault dans les conducteurs induits ;
6° Pertes ohmiques dans les conducteurs induits ;

La question de l'hystérésis et des courants de Foucault a été complètement traitée dans divers ouvrages et l'auteur ne se propose ici que de

(1) Quand le filament est traversé par un courant continu, surtout si le voltage est élevé, l'ampoule se remplit d'une très belle couleur bleue, rappelant à s'y méprendre celle du ciel. Ce phénomène ne se produit pas avec les courants alternatifs. Cette couleur bleue est d'autant plus intense que la réduction du filament est plus avancée. Elle ne se produit qu'en présence de l'oxygène et il faut l'attribuer à la diffusion de la lumière sur les particules de métal brûlé (théorie de lord Rayleigh pour expliquer le bleu du ciel).

Au moment où le bleu apparaît, la conductibilité du gaz est assez grande ; un élément Clark donne 10^{-6} amp. entre deux électrodes distantes de 5 cm.

(1) Soit K = les ergs par seconde et par cm^3 à la vitesse unité dans le champ unité, $\times 10^7$; on a :

$$K = \frac{W}{\pi dls \times \pi dn \times F} \qquad (1)$$

(Voir à la fin de l'analyse la signification des symboles).

(2) Nous donnons plus loin une analyse de cette communication.



choisir les relations convenables entre ces pertes et l'induction, la fréquence et le poids. Les constantes déduites de l'étude de ces phénomènes seront considérées comme exactes tant qu'elles ne seront pas en désaccord manifeste avec les résultats de la pratique.

On a coutume de considérer l'hystérésis et les courants de Foucault dans le noyau et l'hystérésis dans les dents, comme proportionnels à la fréquence, c'est-à-dire à la vitesse ; les courants de Foucault dans les dents sont proportionnels au carré de la vitesse ; ceux qui se développent dans les conducteurs induits sont négligeables dans les machines à induits dentés ou à trous ; ils sont de faible importance dans les machines à induits lisses, avec des conducteurs bien divisés. Ces pertes apparaissent sous forme de chaleur, que l'air circulant autour de l'armature en mouvement tend à dissiper. A un moment donné, la chaleur produite est équilibrée par le rayonnement et la température reste constante. Elle ne doit pas dépasser la température ambiante de plus de 20 ou 30°. Supposant que les constantes convenables ont été déterminées pour toutes ces pertes, nous pouvons les représenter ainsi :

$A_1 n$ = hystérésis et courants de Foucault dans le noyau, en watts.

$A_{11} n$ = hystérésis dans les dents, en watts.

$A_{111} n^2$ = courants de Foucault dans les dents, en watts. $A_{1111} n$ = watts perdus dans les conducteurs induits.

Le rayonnement de chaleur de l'armature est considéré comme proportionnel à la racine carrée de la vitesse ; on peut donc le représenter par l'expression $A_v \sqrt{n}$, et l'on vérifie les pertes dans le cuivre en retranchant les pertes dans le fer de la valeur $A_v \sqrt{n}$.

$$A_v \sqrt{n} - A_1 n - A_{11} n - A_{111} n^2 = A_{1111} n$$

La puissance totale engendrée dans la dynamo ou absorbée par l'induit du moteur est directement proportionnelle à la racine carrée de la puissance perdue dans l'enroulement, à la racine carrée de la section transversale totale du cuivre, au volume du noyau, à l'induction dans l'entrefer et à la vitesse, et inversement proportionnelle à la racine carrée de la longueur de chaque spire de l'induit. La formule est

$$W = \frac{\sqrt{A_{1111}} \times \sqrt{QS_e} \times \pi D L B_a 10^{-6} \times n}{\sqrt{2L \times \frac{D \cdot 7{,}44}{P}}}$$

Nous donnons en note (1) la signification des symboles qui figurent dans cette formule. Elle exprime le fait que la puissance totale de l'induit varie avec la racine carrée de la perte ohmique et avec la vitesse. Si la perte ohmique dans l'induit est relativement faible, comme c'est le cas pour les grandes machines, la puissance variera proportionnellement à la vitesse. D'autre part, dans les petits induits, la perte est notable et il faut rechercher les conditions qui donneront la puissance maxima. Ceci peut se faire par une méthode graphique simple.

Si l'on porte les valeurs de $\sqrt{n}$, n et n^2, multipliées par leurs constantes respectives, en fonction des watts, on obtient le diagramme de la figure 1, donnant pour une armature quelconque la valeur de A_{1111}. Si on porte ensuite les valeurs de n en fonction de la puissance totale, selon la formule précédente, on obtient la courbe de la figure 2. Cette courbe montre qu'il existe pour chaque machine une puissance maxima possible pour un échauffement donné et que ce maximum a lieu pour une vitesse déterminée. La position de cette courbe et de son maximum peuvent se modifier de plusieurs manières. Pour les faibles vitesses, la puissance totale et le rendement sont plus grands avec des encoches profondes et une forte induction ; c'est le contraire pour les grandes vitesses.

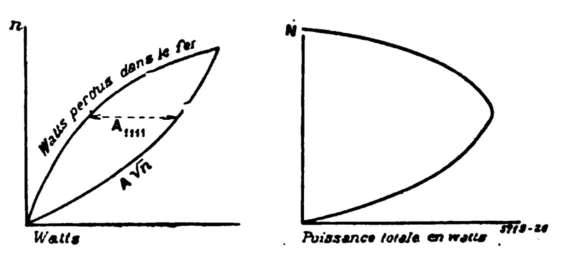


Fig. 1 et 2.

Le rapport entre les pertes dans le fer et les pertes dans le cuivre peut être adopté de façon à

---

(1) $Q = \frac{\text{Surface occupée par le cuivre dans l'encoche}}{\text{Surface de l'encoche}}$

S_e = Surface d'une encoche en cm² × le nombre des encoches.

D = Diamètre du noyau (avec les dents) en cm.

L = Longueur du noyau en cm.

B_a = Induction dans le noyau en lignes de force par cm².

P = Nombre des pôles.

convenir aux conditions dans lesquelles travaillera le moteur. En donnant à ce point l'attention nécessaire, on réduira notablement les frais d'exploitation [1].

La valeur des pertes dans le noyau n'est pas susceptible de grandes variations : la réduction du fer du noyau, avec l'accroissement d'induction qu'elle entraîne, ne les affecte pas sensiblement. Nous avons donc à considérer A_{11} et A_{111}. Ces constantes dépendent du poids des dents ; or, les dimensions de celles-ci se déduisent de la profondeur d'encoche, de l'induction dans l'entrefer et de l'induction maxima dans les dents. Le facteur susceptible de la modification la plus efficace est la profondeur des encoches et l'on voit dans la figure 3, qui s'applique à un induit de 25 cm de diamètre, l'effet de la variation de cette quantité. Les nécessités de la commutation empêchent de réduire assez l'induction dans les dents pour influer sur le résultat : il faut en effet une forte induction dans les dents, aussi bien que dans l'entrefer, pour éviter les déformations du champ, la démagnétisation due au courant induit et par suite le déplacement des balais avec les variations de charge. D'autre part, la limite supérieure de l'induction dans les dents paraît être fixée par les fuites magnétiques qui se produiraient dans l'encoche et développeraient des courants de Foucault dans les conducteurs. Pour l'induction dans l'entrefer, la valeur adoptée en pratique oscille entre 6 000 et 8 500 lignes de force par centimètre carré, pour l'induction dans les dents, elle est de 20 000 à 22 000 lignes de force par centimètre carré.

En résumé : accroître l'induction dans le noyau, la profondeur des encoches, l'induction dans l'entrefer et l'induction dans les dents produit le même effet sur la courbe de débit de la machine qu'un accroissement de la vitesse et l'accroissement de la profondeur d'encoche donne la variation de beaucoup la plus forte. Les pertes dans le fer décroissant en même temps que la profondeur d'encoche, la limite dans ce sens est atteinte au point où l'encoche n'est plus assez profonde pour contenir les conducteurs.

Considérant ensuite la quantité $A\sqrt{n}$, l'auteur fait remarquer que les moteurs cuirassés ne se justifient pas théoriquement. L'enveloppe a l'inconvénient d'empêcher le rayonnement de la chaleur de l'induit et de limiter par là le débit de la machine. La poussière inévitable produite par l'usure des balais est d'ailleurs beaucoup plus nuisible que les poussières atmosphériques. Il est vrai que dans certains cas on veut préserver le moteur de l'humidité ; il sera utile alors de ventiler l'enveloppe artificiellement. Mais c'est là un expédient coûteux sur les machines de faibles dimensions, impraticable même sur les très petites. Chaque fois qu'on le peut, il faut exposer le moteur à l'air libre.

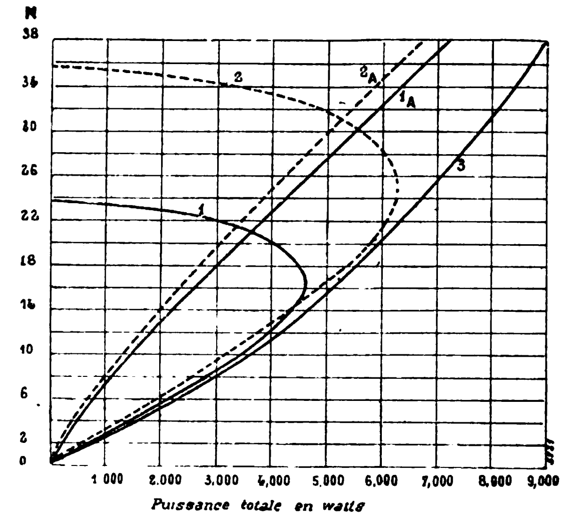


Fig. 3.

Passant enfin au rendement, l'auteur le considère d'abord au point de vue de l'utilisation des matériaux. La formule qu'il indique pour évaluer la puissance engendrée par centimètre cube de zone active est

$$K = \frac{\sqrt{A_{1111} \times QS_v} \times 10^{5}}{\pi ds \times \sqrt{2L + \frac{D.7.44}{P}}}.$$

[1] Si par exemple le moteur doit marcher constamment à charge variable et si l'énergie qui l'alimente est payée au compteur, il est évident que les pertes dans le fer doivent être maintenues faibles et les pertes dans le cuivre élevées, tandis que si la machine fonctionne à pleine charge, elle doit être établie de façon à fournir sa puissance normale avec un total de pertes aussi faible que possible. Or les pertes dans le noyau dépendent de son poids, de l'induction dans ce noyau et de la fréquence. Une valeur d'induction élevée réduit le volume de la « zone active », le nombre de spires nécessaire et le voltage de réactance. D'autre part l'induction dans l'entrefer est limitée mécaniquement par la nécessité d'un écartement suffisant et par les dimensions de la carcasse.

où K = ergs par seconde, par centimètre cube $\times$ 10^7 = diamètre du noyau mesuré jusqu'au milieu de la zone active en centimètres.

Cette formule fait ressortir clairement l'intérêt qu'il y a à augmenter QS_v, c'est-à-dire à donner au cuivre de la machine une forte section transversale. M. H. M. Hobart, dans son article d'octobre de *Traction and Transmission*, a le premier indiqué cette façon de considérer le rendement, mais l'auteur, tout en s'associant à ses observations sur l'importance du facteur QS_v, fait observer que la nécessité d'assurer un bon isolement marque une limite dans ce sens.

Au point de vue de la transformation d'énergie, le rendement est le rapport :

$$\frac{\text{Puissance totale engendrée — puissance perdue dans l'induit}}{\text{Puissance totale engendrée + puissance perdue dans le fer}} = \frac{W - A_{1111}}{W + A_v\sqrt{n} - A_{1111}}$$

On voit encore ici l'intérêt qu'il y a à diminuer les pertes dans le fer. Les diagrammes suivants (fig. 3) montrent l'importance de ce facteur dans une petite machine.

La figure 3 résume toute la discussion précédente ; elle contient cinq courbes, qui se rapportent à une machine à quatre pôles. La courbe 1 représente la puissance engendrée dans l'induit, qui a 25,4 cm de diamètre, 10,16 cm de longueur, une profondeur d'encoche de 2,38 cm et fait 1 000 tours par minute, donnant une puissance utile de 4 600 watts, avec un échauffement de 21° C. au-dessus de la température ambiante. La courbe 2 représente la puissance totale engendrée par un induit analogue avec une profondeur d'encoche de 1,6 cm, tournant à la même vitesse et fournissant à peu près la même puissance. Les courbes 1_A et 2_A représentent les puissances utiles, déterminées par le calcul, de deux induits enroulés l'un comme celui de la courbe 1, l'autre comme celui de la courbe 2, mais lisses, avec des enroulements d'épaisseurs différentes. La courbe 3 est l'enveloppe approximative de toutes les courbes de puissance utile qu'on peut obtenir avec cette carcasse. Cette courbe peut être légèrement modifiée par la variation des flux d'induction, mais, dans les limites pratiques, elle indique le débit maximum à toutes les vitesses. L'enroulement inducteur et l'induction dans l'entrefer sont les mêmes dans tous les cas.

L'étude de ce diagramme est d'un grand secours pour évaluer la puissance utile qu'on pourra tirer d'une carcasse donnée et aussi pour déterminer l'effet probable de la vitesse de rotation sur le débit de la machine. Il est évident que lorsque les pertes dans le fer deviennent moins importantes, comme c'est le cas pour les machines plus puissantes, la courbure de l'enveloppe (courbe 3) devient de moins en moins accentuée, et comme la vitesse angulaire des machines puissantes est relativement faible, la partie supérieure de cette courbe présente peu d'intérêt et la partie inférieure tend à se confondre avec une ligne droite. Ceci est d'accord avec le fait déjà connu par l'expérience, que dans les machines puissantes les watts engendrés sont presque directement proportionnels à la vitesse de rotation. P. L.

Analyse de la communication faite au congrès des ingénieurs de Glasgow de 1901. — Le problème de la commutation a été l'origine de discussions nombreuses. Tous les constructeurs s'accordent à reconnaître que le bon fonctionnement d'une machine dépend en grande partie des conditions dans lesquelles s'effectue la commutation.

Le résumé le plus récent de cette partie du sujet se trouve dans l'ouvrage de MM. Parshall et Hobart « Les génératrices électriques ». Les auteurs y donnent un résumé de recherches théoriques et expérimentales sur la réaction d'induit ; ils discutent la relation entre le nombre des spires inductrices et le nombre des spires induites et la relation entre le voltage de réactance et la force électromotrice engendrée par section de l'induit. Sans vouloir entrer dans le détail de ces sujets, l'auteur se propose d'indiquer une méthode de calcul simple pour la détermination des conditions indispensables à un bon fonctionnement.

On suppose que les variations du courant suivent une loi sinusoïdale. La force électromotrice de la machine a pour expression :

$$E = \frac{2\pi d l F G m n}{p \times 10^8} \qquad (2)$$

et le voltage de réactance :

$$r = \frac{2\pi \frac{G}{b} n f l b m^2 C}{p \times 10^8} \qquad (3)$$

De (2) et de (3) on tire la formule simple

$$r = \frac{ECfm}{dF} \tag{4}$$

La valeur f du champ dû à la spire en commutation n'est probablement pas aussi constante que l'indique l'ouvrage précédemment cité, mais on peut faire subir à ce facteur la correction que l'on veut en introduisant la relation qui existe entre la profondeur et la largeur des encoches ou toute autre considération.

La formule (4) indique que le voltage de réactance n'est pas susceptible de grandes modifications pour une puissance donnée.

Dans toutes les grandes machines, on a $m = 1$. La puissance en watts étant donnée, le voltage de réactance est inversement proportionnel au diamètre de la machine.

L'équation (4) est vraie pour tous les enroulements, qu'ils soient ondulés ou imbriqués. Elle permet de déterminer immédiatement la force électromotrice de self induction qui doit être surmontée dans la commutation. Quant à la force électromotrice de renversement, elle dépend naturellement de la réaction d'induit, mais on peut, dans cette partie du raisonnement, la considérer comme égale à la force électromotrice moyenne engendrée dans les conducteurs induits par leur déplacement à travers le champ. Puisqu'on vient de déterminer le voltage de réactance dans une section de l'induit, il faut calculer la force électromotrice moyenne dans la même région. Une section de l'induit étant définie comme le circuit parcouru par le courant d'une lame du collecteur à une autre, la force électromotrice moyenne engendrée dans une section est :

$$e = \frac{2mlF\pi dn}{10^8}. \tag{5}$$

Il faut ici faire une distinction entre les enroulements ondulés et les enroulements imbriqués. Dans les premiers, e = la différence de potentiel entre des lames adjacentes du collecteur ; dans les seconds, cette dernière différence de potentiel $= \frac{e \times P}{2}$.

On considère que le rapport entre les deux forces électromotrices e et r a une grande influence sur les conditions de commutation de la machine. Sans doute la résistance au contact des balais et de leurs connexions et celle des connexions au collecteur ont beaucoup d'effet sur la valeur du voltage de réactance, mais on croit que les valeurs qui s'obtiennent par la méthode déjà citée peuvent être employées avec avantage dans les projets de machines. L'introduction de la quantité K appelée facteur d'énergie simplifie la question en permettant de construire

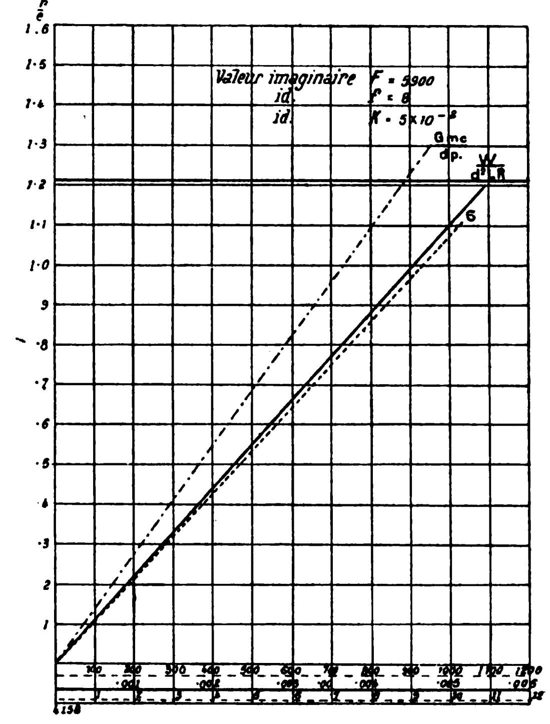


Fig. 1.

facilement les courbes des valeurs du rapport $\frac{e}{r}$. La valeur des ampères-tours totaux de l'armature se déduit des équations (1) (p. 205) et (2) ; elle est, en remarquant que $W = EC$:

$$\frac{GmC}{p} = \frac{K\pi ds 10^8}{2}. \tag{6}$$

La valeur des ampères-tours totaux par centimètre comptés sur le diamètre de l'induit, en fonction de $\frac{e}{r}$, est donnée par l'équation :

$$\frac{e}{r} = \frac{dFp}{f \times GmC} \tag{7}$$

tirée des équations (3) et (5).

La relation entre la profondeur d'encoche et le rapport $\frac{e}{r}$ se tire des équations (4) et (5) :

$$\frac{e}{r} = \frac{2F}{K\pi fs 10^8}. \tag{8}$$

La relation des dimensions et de la vitesse de la machine à sa puissance, en fonction de $\frac{e}{r}$, est donnée par l'équation :

$$\frac{e}{r} = \frac{2\pi F^2}{60 f 10^8} \times \frac{d^2 l R}{W} \qquad (9)$$

tirée des relations (1) et (8).

Il est commode de représenter ces relations par des courbes ; on obtient ainsi celles de la figure (1), où l'on a porté en ordonnées les valeurs de $\frac{r}{e}$, au lieu de $\frac{e}{r}$, afin d'obtenir des lignes droites.

Les quatre quantités variables sont $\frac{e}{r}$ = rapport entre la force électromotrice moyenne engendrée entre deux lames du collecteur et le voltage de réactance, $\frac{GmC}{p}$ = ampères-tours de l'induit, s = profondeur des encoches, $\frac{d^2 l R}{W}$ =

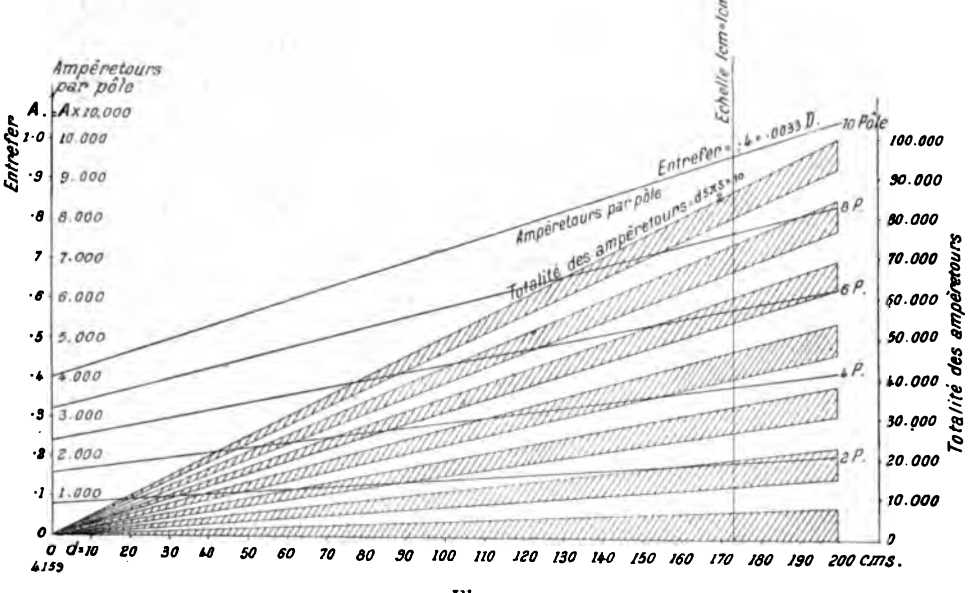


Fig. 2.

rapport entre les dimensions et la vitesse de la machine et sa puissance. Le choix d'une valeur donnée pour une quelconque d'entre elles détermine les trois autres.

La valeur à choisir pour $\frac{e}{r}$ peut varier dans de larges limites, mais, en pratique, il ne semble pas qu'il y ait avantage pour la commutation à la prendre supérieure à 2. D'autre part quoiqu'on ait adopté dans un grand nombre de machines la valeur 1,6 pour cette quantité, il serait téméraire de l'abaisser davantage.

Ceci restreint l'usage pratique des courbes à des limites relativement étroites, qui paraissent pouvoir servir de guides dans les projets de machines, du moins en ce qui concerne les quantités figurant dans les équations précédentes. On remarquera que l'équation (9) laisse indéterminée la relation entre le diamètre et la longueur de l'armature. L'équation (4) montre qu'il est important de choisir un grand diamètre de façon à réduire la valeur de r, car il y a intérêt, non seulement à augmenter la valeur du rapport $\frac{e}{r}$, mais aussi à abaisser la valeur des deux termes. Ensuite, le diamètre de l'armature doit être déterminé selon la valeur de E, car, pour un diamètre donné, le nombre de lames au collecteur est limité par des nécessités mécaniques. Les équations montrent enfin que le rapport entre le diamètre et la longueur de l'armature n'a pas d'influence sur les conditions de commutation : un diamètre faible par rapport à la longueur n'empêchera pas la commutation de bien s'effectuer, si la machine est convenablement construite et enroulée

On a admis que la valeur de la force électromotrice de renversement peut être considérée comme une fraction déterminée de la force électromotrice totale engendrée par l'induit. Ceci



suppose pour la réaction d'induit certaines conditions qu'il faut maintenant déterminer. Pour cela on fixe le nombre des pôles de telle sorte que la réaction d'induit soit dans un rapport convenable avec la force magnétisante des inducteurs, ce qui s'exprime par l'équation :

$$P = \frac{GmC}{p \times A \times 10\,000},$$

c'est-à-dire que le nombre des ampères-tours induits par pôle ne doit pas dépasser 10 000 par centimètre d'épaisseur d'entrefer. La figure (2) indique une méthode graphique pour traiter cette partie du problème ; on y a porté en abscisses les valeurs de d et en ordonnées les valeurs des ampères-tours totaux, des ampères-tours par pôle et de l'épaisseur d'entrefer, cette dernière quantité étant considérée comme fonction du diamètre.

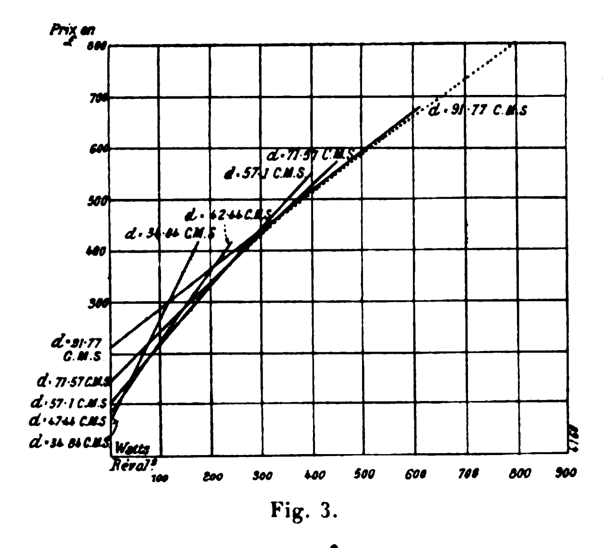


Fig. 3.

Ayant tiré du diagramme (fig. 1) la valeur des ampères-tours par centimètre de diamètre et la profondeur des encoches, et, ayant fixé le diamètre de la machine, on aura immédiatement les ampères-tours par pôle et le nombre des pôles.

Comme on peut le voir, la relation entre le diamètre et la longueur ne dépend pas seulement du voltage de réactance, mais aussi du nombre de spires par section induite et du nombre de circuits en parallèle que forme l'armature. On trouvera donc probablement commode, en établissant des projets de machines d'après cette méthode, de prendre pour point de départ la valeur de m, qui fixera les dimensions des conducteurs et la densité de courant. $\frac{mC}{p}$ est le nombre des ampères-tours par section de l'induit, et l'intensité C du courant que doit fournir la machine donnera immédiatement le rapport $\frac{Gm}{dp}$; le diamètre et le nombre de lames au collecteur s'introduisent donc indépendamment de la vitesse à laquelle la machine doit tourner.

Si l'on se donne la vitesse tangentielle, le diamètre est aussitôt déterminé.

Voici des exemples d'emploi des équations précédentes :

CONSTANTES	DONNÉES	VALEURS prises arbitrairement.	VALEURS CALCULÉES	
fFK	$dlpP$	$G\frac{e}{r}Em$	D'après	s C R r A (8) (7) (9) (4) (10)
	dlP	$pmEer$	»	s C G R A (8) (4) (7) (9) (10)
	$dlpPRs$	Ee	»	r C m G A (8) (9) (4) (7) (10)
	$dlpPRs$	Ge	»	r E C m A (8) (9) (4) (4) (10) et (7)
	$dlREC$	PpG	»	$\frac{e}{r}$ s m r A (9) (8) (7) (4) (10)
	$dlRm$	$PGE\frac{e}{r}$	»	s C p r A (8) (9) (7) (4) (10)
	REC	$PdGer$	»	s m p l A (8) (4) (7) (9) (10)
	REC	$PmGer$	»	s d p l A (8) (4) (7) (9) (10)

Si l'on passe maintenant à la considération du prix, on constate que pour bien des catégories de machines il n'existe pas de rapport fixe entre le prix et la puissance ; il est donc difficile de faire des évaluations. L'auteur propose la méthode suivante.

On porte en abscisses les watts débités par tour et en ordonnées les prix, et l'on figure par un point la position de chaque machine. Les points figuratifs se rapportant à des carcasses de même diamètre et de longueurs différentes sont reliés par une ligne droite, qu'on prolonge jusqu'à son intersection avec l'axe des ordon-

nées. Le point ainsi obtenu donne le prix-limite dont se rapprochent ces carcasses quand leur longueur tend vers zéro. L'inclinaison de la ligne des prix correspondant au même diamètre et à des longueurs différentes indique le prix par unité de longueur de la zone active pour une carcasse de ces dimensions. L'accroissement du diamètre accroît le prix-limite et réduit l'inclinaison de la ligne des prix, de sorte que si l'on va du plus faible diamètre au plus grand, on obtient une succession de lignes droites, dont chacune touche en un point celle située immédiatement au-dessous, et dont l'ensemble forme une courbe composée de segments de droites. Chacun de ces segments détermine les longueurs pour lesquelles la machine du diamètre correspondant est économiquement avantageuse.

Cette méthode est utile pour les machines d'un diamètre inférieur ou au plus égal à 100 cm. Au delà de cette dimension, le prix est très sensiblement proportionnel à d^2l et n'est pas sérieusement affecté, dans les limites ordinaires du fonctionnement, par le rapport $\frac{d}{l}$. La figure 3 est une illustration de la méthode proposée. Le rapport d^2l (dimensions de la machine) et $\frac{W}{R}$ (nombre de watts par tour) s'obtient immédiatement par le diagramme (1), quand on considère des modèles déjà réalisés et qu'on a fixé la valeur de $\frac{e}{r}$. Pour créer de nouveaux types, correspondant à des prix de revient donnés, on se sert du diagramme (fig. 3).

SIGNIFICATION DES SYMBOLES

A = Epaisseur de l'entrefer en centimètres.
b = Nombre maximum de lames du collecteur recouvertes par le balai.
C = Intensité totale du courant induit en ampères.
d = Diamètre du noyau de l'induit mesuré en centimètres jusqu'au milieu de la zone active.
e = Force électromotrice moyenne engendrée dans une section de l'induit, en volts.
E = Force électromotrice totale engendrée dans l'induit, en volts.
f = Flux d'induction dû à une spire, en lignes C. G. S. par centimètre de longueur d'encoche.
F = Flux moyen sur toute la surface de l'armature, en lignes C. G. S. par centimètre cube.
G = Nombre de lames du collecteur.
K = Nombre de watts engendrés par centimètre cube de zone active, à la vitesse unité, dans le champ unité (ou facteur d'énergie).
l = Longueur du noyau de l'induit en centimètre.
m = Nombre de spires par section de l'induit.
n = Nombre de tours par seconde.
P = Nombre de pôles inducteurs.
p = Nombre de circuits en parallèle dans l'induit.
r = Voltage de réactance.
s = Profondeur des encoches en centimètres.
W = E.C. = Nombre total des watts engendrés dans la zone active.
R = 60 n = Nombre de tours par minute.

P. L.

AMERICAN INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS

Séance du 26 septembre 1902.

Chemin de fer monophasé de Washington, Baltimore et Annapolis, par **B.-G. Lamme.** *Transactions*, t. XIX, 1231-1246, août-septembre 1902.

Cette ligne relie Baltimore à Washington par un service rapide ; la distance est de 50 km, avec un embranchement sur Annapolis, de 24 km. On y emploie le trôlet aérien et on doit réaliser des vitesses totales de 65 km à l'heure. Cette ligne présente comme particularité que la station génératrice, la transmission, le trôlet, et les moteurs utilisent le courant alternatif monophasé. Le succès, pour ne pas dire l'usage exclusif, dont jouit le moteur-série à courant continu pour la traction ne provient, selon l'auteur, que de ce fait que ce moteur est à champ variable automatiquement et en outre, de la simplicité de la ligne de transmission.

Si un moteur à courant alternatif monophasé pouvait réaliser ces conditions, il aurait d'autres avantages sur le courant continu, qui en imposeraient l'emploi [1]. Il permettrait d'employer des

[1] Ce système présente néanmoins l'inconvénient de la tension constante, ce qui oblige à obtenir des variations de vitesse par des pertes ohmiques de rhéostats, qui dans le cas des chemins de fer doivent être très volumi-



tensions élevées, d'éviter les électrolyses dans le sol, et, aux moyens de transformateurs, de régler la tension et par suite la vitesse sans pertes dans un rhéostat. Dans ce cas, plus la vitesse est faible, moindre est l'énergie empruntée à la ligne; ainsi au démarrage, cette énergie est très faible; les seules pertes sont celles du moteur et de l'appareil de transformation et ces pertes sont moindres qu'à pleine vitesse, avec un couple égal. La variation du voltage peut être obtenue par un transformateur en modifiant le nombre de spires secondaires au moyen d'un commutateur; mais pour des courants puissants les étincelles détériorent trop rapidement cet appareil. Une méthode préférable est d'enrouler les deux circuits sur un noyau différent et de faire varier la tension secondaire en modifiant la position angulaire du noyau correspondant par rapport au noyau primaire.

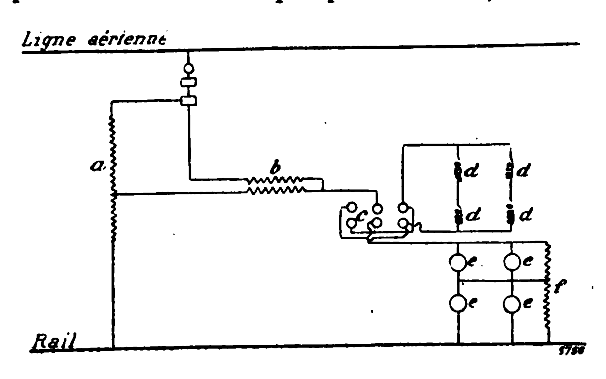


Fig. 1.

Le moteur monophasé employé sur la ligne de Washington — Baltimore est semblable à un moteur à courant continu mais avec des inducteurs feuilletés et des proportions convenables pour pouvoir commuter du courant alternatif. Il peut être alimenté indifféremment par du courant continu ou du courant alternatif, avec les mêmes caractéristiques du couple.

La fréquence du courant monophasé est de 16,6 périodes par seconde; la tension du conducteur aérien est de 1 000 volts environ; dans le tronçon colombien on dut employer deux conducteurs aériens, le retour par les rails étant interdit.

Le courant passant par un interrupteur est envoyé dans un auto-transformateur, dont l'autre extrémité est reliée à la terre. Au point de l'enroulement correspondant à environ 300 volts à partir de la terre, part un conducteur qui traverse le régulateur *b* (fig. 1) et aboutit à une des bornes des moteurs. Le circuit secondaire du régulateur est ainsi en série, avec les moteurs et est disposé de façon à abaisser ou à élever le voltage aux bornes des moteurs, ce qui permet de lui donner une puissance relativement faible

La tension doit varier entre 200 et 400 volts; le transformateur fournit 315 volts et le circuit secondaire du régulateur en donne environ 100 au maximum, soit seulement le quart de la tension normale des moteurs [1].

Il y a 4 moteurs sur chaque voiture, de 220 volts environ. Les moteurs sont couplés par deux en série, avec inducteurs *d* en série et induits *e* en série, les deux groupes étant en parallèle (fig. 1); ces connexions sont invariables. Pour assurer l'égalité de tension aux induits *e* en série, un petit auto-transformateur est relié aux induits de la façon représentée dans le schéma (fig. 1). Les inducteurs sont groupés indépendamment des induits, par deux groupes en parallèle, formés de deux inducteurs en série. Avec le courant alternatif le voltage aux bornes des inducteurs dépend de l'intensité du champ et le courant qu'ils prennent se divise naturellement de façon à produire des champs magnétiques égaux. Le principal avantage de ce groupement est de ne nécessiter qu'un seul inverseur *c* pour les quatre moteurs et un seul régulateur sur les induits.

Le régulateur d'induction ressemble, comme construction générale, à un moteur asynchrone. Le rotor porte l'enroulement secondaire et un enroulement séparé, en court-circuit, qui a pour objet de neutraliser la self-induction du précédent.

neux. Le « controller » est d'autre part un appareil délicat et sujet à une usure rapide. En outre, l'emploi de tensions de 600 à 650 volts au plus conduit à des dépenses de cuivre exagérées et rend très difficile la captation du courant. Avec une locomotive de 2 400 chevaux, on est conduit à des courants de 3 000 à 4 000 ampères, et de 6 000 à 8 000, par moments. L'emploi de courants aussi formidables dans un service urbain, avec retour par les rails, nécessite des précautions très dispendieuses pour éviter les électrolyses dans le sol.

(1) On a trouvé inutile d'abaisser la tension initiale au-dessous de 200 volts, la vitesse étant suffisamment faible et le couple assez élevé. La majeure partie de cette tension est d'ailleurs absorbée par la self-induction des moteurs, qui dépend seulement du courant et non de la vitesse.



Le primaire est connecté comme le montre la figure 1.

Le régulateur est bipolaire et les variations de voltage extrêmes s'obtiennent par une rotation de 180° (1).

Les moteurs sont à 8 pôles et 700 tours-minute à 220 volts ; leurs induits sont semblables à ceux d'un moteur à courant continu. La difficulté de la commutation provient ici non du courant principal, mais de courants locaux prenant naissance dans les spires en court-circuit placées à ce moment dans le champ inducteur alternatif. L'auteur constate que ces difficultés ont été surmontées, et des essais prolongés sur des moteurs de 100 chevaux montrent qu'il n'y a aucun dérangement à craindre au collecteur.

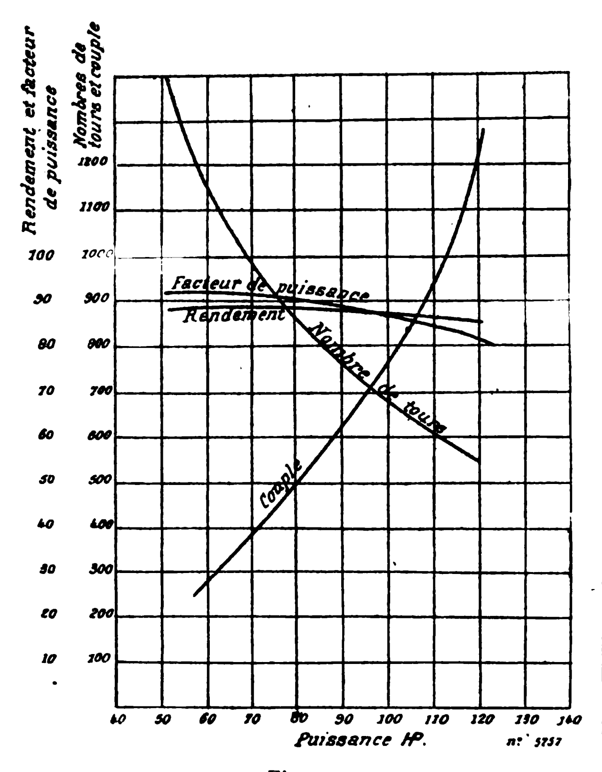


Fig. 2.

La figure 2 indique les résultats obtenus sur ces moteurs par des essais au frein. Le rendement est très satisfaisant ; le facteur de puissance diminue un peu pour les fortes charges, mais sa moyenne est d'environ 86 p. 100. Au démarrage le rendement du système est beaucoup plus élevé que celui du courant continu ; mais il est plus faible à la vitesse normale. L'équipement est un peu plus lourd mais, en fin de compte, surtout pour un service à arrêts fréquents, le rendement de ce système est au moins égal à celui d'un chemin de fer à courant continu (1).

Pour l'éclairage des voitures, la fréquence était trop faible : on branche un moteur asynchrone diphasé sur la ligne monophasée, et la phase disponible fournit un courant en quadrature sur celui de la ligne. Chacune des deux phases alimentait un filament de lampe à incandescence à deux filaments, en donnant une lumière parfaitement stable (2).

La station génératrice se compose de 3 alternateurs de 1 000 kilowatts enroulés directement pour fournir 15 000 volts à 83 tours par minute. Les excitatrices sont munies de bagues de façon à pouvoir fournir du courant monophasé destiné à l'éclairage après l'arrêt des alternateurs. Il y aura 9 sous-stations avec transformateurs donnant 1 000 volts sur la ligne.

Au point de vue des applications de ce système, l'auteur le croît appelé à un grand succès pour les lignes interurbaines ; et, par sa simplicité et son rendement, il semble en effet appelé à résoudre économiquement le problème de l'équipement électrique des chemins de fer (3).

P.-L. C.

(1) Cette disposition du primaire a pour conséquence que le régulateur fonctionne avec des inductions élevées au démarrage, et avec des inductions faibles pendant la période de marche normale de beaucoup la plus longue dans le cas actuel. En outre, quand les moteurs fonctionnent à pleine tension, le courant primaire du régulateur passe par les moteurs, mais ni dans le transformateur, ni dans le secondaire du régulateur, ce qui permet de réduire les dimensions de ces deux appareils.

(1) La perte, dans le retour par les rails, est, avec la fréquence de 16,6 périodes, trois ou quatre fois plus grande qu'avec le courant continu, à tension égale ; mais l'emploi de tensions plus élevées compense cette différence.

(2) Un procédé plus simple encore était d'employer des lampes à bas voltages et à gros filaments, possédant une inertie calorifique considérable ; les résultats furent également satisfaisants.

(3) Discussion, d'après *Transactions of the Am. Inst. of. El. Eng.*, t. XIX, p. 1437-1452, novembre 1902.

M. P.-C. Steinmetz se félicite de ce que les ingénieurs américains aient attaqué le problème de la traction électrique avec un succès que les essais faits en Europe avec le courant polyphasé n'ont pas surpassé. Il constate que la tentative de M. Lamme n'est au fond qu'une adaptation du moteur-série à courant continu aux moteurs à

Séance du 24 octobre 1902.

La question à l'ordre du jour de cette séance est celle des mesures photométriques et d'éclairement, **M. Scott**, président, refait l'historique de cette question, et rappelle que c'est le défaut de méthode de mesure physique de la lumière qui en fait la grande difficulté.

Il n'accorde pas grand crédit aux courbes de distribution des sources, et croit que le meilleur moyen de comparer les sources diverses entre elles est de tenir compte du flux lumineux total qu'elles émettent et du rendement en lumière.

Le professeur **Ch. P. Matthews** présente la communication suivante [1] :

Photomètre intégrateur pour lampes à incandescence et sources de même puissance.

Cet instrument est destiné à mesurer, soit l'intensité de la lumière dans une direction donnée, soit l'intensité moyenne horizontale, sphérique ou hémisphérique, soit enfin le facteur de réduction sphérique, c'est-à-dire le rapport de l'intensité moyenne sphérique à l'intensité moyenne horizontale.

L'auteur fait ressortir l'importance du flux lumineux dans la comparaison des sources entre elles, ou de l'intensité moyenne sphérique qui lui est proportionnelle. Il fait remarquer que cette intensité moyenne peut être obtenue de diverses façons dans les lampes à incandescence, la disposition du filament déterminant la distribution de la lumière ; à flux égal, la valeur de deux sources est déterminée par leur rendement ou leur dépense d'énergie.

Après avoir rappelé les différentes méthodes actuelles de mesure de l'intensité sphérique moyenne, l'auteur décrit le principe de son appareil. S désignant la source lumineuse dont le centre est q, (fig. 1), on prend comme axe de l'appareil une droite pq contenue dans le plan de l'écran photométrique p ; la droite pq est, d'autre part, le côté d'un rectangle dont le plan est perpendiculaire à l'écran p, et aux sommets a, b opposés à p et q sont placés deux miroirs perpendiculaires au plan du rectangle et inclinés à 45° sur les côtés pb, qa. En $pq\,a'b'$ est un autre rectangle muni de miroirs a' b' et faisant un angle $2\pi - \theta$ avec le premier.

---

courant alternatif en feuilletant les inducteurs. Dans les essais personnels de l'orateur faits en collaboration avec M. Eickemeyer en 1891-1892, il a trouvé que le principal inconvénient de cette adaption était la production anormale d'étincelles au collecteur, ainsi qu'un facteur de puissance très faible. Il est heureux de voir que M. Lamme atteint avec son moteur une vitesse presque triple de la vitesse de synchronisme et obtient par conséquent un facteur de puissance satisfaisant. L'orateur estime enfin que la traction électrique par courants alternatifs ne deviendra pratique que lorsqu'on obtiendra avec le moteur monophasé les caractéristiques du moteur-série, c'est-à-dire un démarrage avec couple maximum, ce couple décroissant quand la vitesse augmente.

M. Mershon pense que le facteur de puissance élevé obtenu par M. Lamme est dû aussi à l'emploi d'un plus grand nombre de pôles qu'avec le courant continu.

M. B.-J. Arnold croit devoir rappeler à l'assemblée que, au commencement de 1900, il a passé un marché pour la construction d'une ligne de 96 km avec moteur monophasé et il estime que contrairement à l'opinion de M. Lamme, c'est là le premier essai qui ait été fait avec moteur monophasé. L'orateur pense que si M. Lamme a pu construire un moteur monophasé avec collecteur, démarrant et fonctionnant dans les conditions variées de la traction *sans étincelles*, ce fait constitue l'avantage essentiel de son système.

M. Mailloux rappelle une fois de plus son scepticisme à l'égard de l'application du courant alternatif à la traction et pense que, dans tous les cas où s'imposent de grandes vitesses et des arrêts fréquents, rien ne vaut encore le courant continu dont les applications ne manqueront pas de progresser sous l'effet de la concurrence du courant alternatif.

Dans sa réplique, M. Lamme rappelle que les moteurs monophasés de 100 chevaux ont été réellement essayés et que les ingénieurs de la Cleveland Construction Company ont choisi cette puissance parce qu'ils ont vu fonctionner de tels moteurs dans les ateliers. Son système n'existe pas seulement à l'état de projet, les marchés ont été passés et les appareils sont en construction.

Au sujet des facteurs de puissances élevés obtenus par l'orateur, celui-ci reconnaît que la fréquence a une influence notable sur ces facteurs de puissance, mais que les résultats obtenus tiennent au choix de l'ensemble des proportions adoptées.

Ainsi, pour un moteur de quatre pôles et un autre de douze pôles, types adoptés définitivement, les facteurs de puissance ont été à peu près les mêmes ; quant aux détails de construction, M. Lamme regrette de ne pouvoir les aborder, pour le moment ; en réponse à diverses questions, il peut dire seulement que l'entrefer est à peu près le même que dans un moteur à courant continu, que les balais sont placés dans la ligne neutre et qu'ils n'ont pas besoin d'être déplacés pour les changements de direction.

P.-L.-C.

(1) D'après *Elect. Review.*, New-York, 1er novembre 1902, t. XLI, p. 592-597.

Tout se passe comme si l'écran était éclairé par les images s', s'' de la source, qui y produiront un éclairement

$$i_0 + i_1 = \frac{K_0 I_0}{d_0^2} + \frac{C K_1 I_1}{d_1^2}$$

où K_0, K_1 désignent les pouvoirs réflecteurs des deux paires de miroirs, $d_0\, d_1$ les distances de la source à l'écran comptées sur les chemins tels que *qabp*, C, un facteur variant avec l'incidence de la lumière sur l'écran.

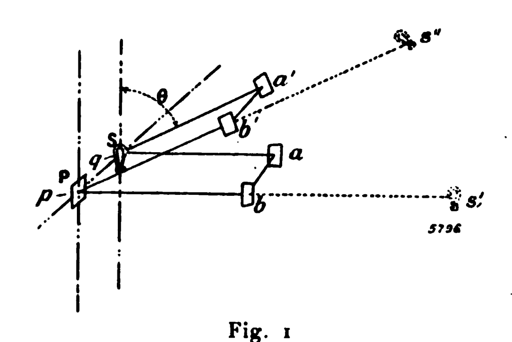


Fig. 1

S'il y a n miroirs disposés autour de l'axe pq, les rectangles correspondants faisant entre eux des angles égaux $\Delta\,\theta$ tels que $n.\ \Delta\,\theta = \pi$, l'éclairement résultant sur l'écran sera

$$\Sigma_0^\pi i_1 = \Sigma_0^\pi \frac{C K_1 I_1}{d_1^2}.$$

Si maintenant on suppose que les paires de miroirs tels que a, b puissent être déplacés radialement de façon que

$$\frac{C K_1}{d_1^2} = \frac{K_0 \sin\theta}{d_0^2},$$

on aura

$$\Sigma_0^\pi i_1 = \frac{K_0}{d_0^2}\ \Sigma_0^\pi I_1 \sin\theta.$$

Or, l'intensité moyenne sphérique a pour valeur approchée

$$I_{ms} = \frac{\pi}{2n}\ \Sigma_0^\pi I_1 \sin\theta,$$

quantité proportionnelle à l'éclairement obtenu sur l'écran.

Il suffira de mesurer ce dernier par comparaison avec une source, comme pour en déduire l'intensité moyenne sphérique cherchée.

Si l'éclairement variait exactement suivant la loi du cosinus, on aurait, $C = \sin\theta$, et si tous les miroirs avaient tous le même pouvoir réflecteur on aurait $K_0 = K_1$, il serait inutile de régler la position des miroirs a, b.

La figure 2 indique la disposition générale de l'appareil. S est la lampe essayée, S' la lampe étalon ; les miroirs M_3 peuvent être déplacés au moyen d'une crémaillère et d'un pignon, afin de produire l'égalité d'éclairement sur l'écran P.

Avec 11 miroirs, l'approximation pour l'intensité moyenne sphérique est très suffisante.

La mesure de l'intensité moyenne horizontale ou dans une direction quelconque se fait sans difficulté ; la lampe à essayer est placée sur un support auquel on imprime une vitesse angulaire de 180 tours par minute. S'il s'agit d'une source à flamme, il faut naturellement mesurer l'intensité horizontale point par point. On fait également tourner la lampe à incandescence à cette vitesse pour la mesure des intensités sphériques ; mais il faut choisir pour lampe étalon une lampe à incandescence du même ordre de grandeur que celle que l'on essaie. Pour les flammes, il faudra répéter la mesure pour différentes positions de la source autour d'un axe vertical.

Pour la mesure du facteur de réduction sphérique, on enlève la lampe étalon S' et l'écran O, de sorte que, quand on imprimera à la lampe en essai, son mouvement de rotation, le côté gauche de l'écran sera éclairé par l'intensité moyenne horizontale et le côté droit par l'intensité moyenne sphérique, la première servant pour ainsi dire d'étalon à la mesure de la seconde. Le déplacement des miroirs M_3 permettra de connaître ce rapport par une simple mesure.

L'auteur termine en indiquant les détails de la mise en place et du réglage de l'appareil et des miroirs.

A la suite de cette communication. M. Douglass Burnett, reprend la question de la « distribution de l'éclairage », dans les espaces à éclairer ; c'est à ce point de vue, plutôt qu'à celui de l'éclat intrinsèque des sources qu'il faut aujourd'hui étudier les foyers lumineux. L'auteur considère ensuite la distribution de la lumière en tant qu'effectuée par la réflexion et la diffusion et il estime que l'on peut jusqu'à un certain point calculer cette distribution le long d'une surface éclairée, en se basant sur ce que les éclairements produits par diffé-



rentes sources sur une même surface, s'ajoutent arithmétiquement pour produire l'éclairement final. On est conduit de la sorte à la construction des courbes d'égal éclairement, et l'auteur décrit le photomètre qu'il a employé à cet usage.

Dans une autre communication, M. Glayton Sharp examine le « degré d'exactitude commerciale des mesures photométriques » et pense que, si l'on entend par là que les erreurs ne doivent pas dépasser 2 p. 100, ce résultat n'est pas atteint dans la plupart des mesures photométriques industrielles, parce que les opérateurs n'ont ni l'habileté, ni la pratique nécessaires pour s'entourer de toutes les précautions qu'exigent ces mesures. L'auteur croit cependant qu'on peut ne pas dépasser l'erreur de 2 p. 100, en effectuant convenablement les mesures. Il cite les résultats d'expériences faites en ce sens et concernant les mesures industrielles courantes où l'on compare les foyers lumineux à des lampes préalablement étalonnées à l'aide d'étalons secondaires. Il résume ses observations en montrant que les étalons primaires peuvent être acceptés, avec suffisamment d'exactitude, pour les besoins commerciaux; que ces étalons peuvent être reproduits aisément et que les mesures de comparaison peuvent s'effectuer très rapidement. Les difficultés que l'on rencontre avec certaines sources, comme les lampes à arc, tiennent plutôt au caractère instable de la grandeur à mesurer qu'aux méthodes de mesure elles-mêmes.

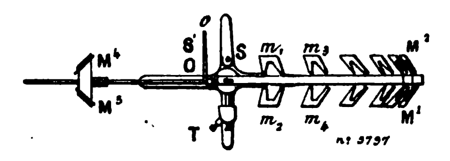


Fig. 2

Dans la discussion qui suit ces communications, la plupart des orateurs insistent sur la nécessité de s'en rapporter à la mesure des éclairements. M. E.-L. Nichols cite, à ce propos, l'installation du cabinet photométrique de l'Université de Tornell, où les sources lumineuses peuvent être distribuées à volonté, où les tentures des murs peuvent être changées de toutes les façons et où l'on peut mesurer l'éclairement en chaque point, ce qui se fait au moyen d'un photomètre de Weber.

M. L.-D. Marks constate que l'Institut américain prône l'usage de l'intensité moyenne sphérique mais que cette grandeur est d'une mesure pénible; aussi l'appareil de M. Mathews vient-il à point pour fournir à l'industrie un moyen rapide de mesure de l'intensité moyenne sphérique, d'autant plus que les grandes compagnies commencent à introduire cette quantité dans les spécifications des cahiers des charges.

P.-L C.

Séance du 21 novembre.

Réglage de la vitesse des trains électriques des grandes lignes, par **H. Ward Léonard.**

Electricity, t. XXII, p. 283-284, 26 nov. 1902.

L'auteur rappelle qu'en 1894, il a fait à l'Institut américain une communication sur un système de train électrique alimenté par une ligne monophasée à haute tension. Le courant est produit par des stations aussi éloignées que le permet l'isolation des lignes et est transformé sur la locomotive de façon à donner lieu à un réglage de la vitesse au moyen des variations de voltage aux moteurs. Comme l'idée a été reprise ces temps-ci, l'auteur croit devoir signaler un perfectionnement adapté au système à unités multiples.

La figure 1 représente schématiquement cette application à deux locomotives électriques.

Le courant monophasé sur la ligne est de 20 000 volts, ou réduit dans le rapport voulu par des transformateurs fixés le long de la ligne. S'il y a lieu, des transformateurs S_1 S_2, réduisent la tension sur la locomotive ; de là le courant passe dans des moteurs synchrones A_1, A_2 et de là, à la terre. Le moteur synchrone actionne, d'une part, une excitatrice E_1, E_2, dont le courant peut être inversé par le commutateur R_1, R_2, et une dynamo à courant continu, D_1, D_2 excitée par le courant de E_1 E_2. Les moteurs M_1M_1, M_2M_2 sont connectés en quantité sur le circuit extérieur des dynamos D_1, D_2, et leur excitation constante est fournie par E_1 E_2. La manette de l'inverseur R_1 R_2, commande le rhéostat d'excitation au moyen duquel on règle à volonté le voltage des dynamos D_1 D_2. Comme le montre la figure 1, les circuits d'excitation de tous les moteurs sont invariablement connectés aux fils 1, 2, qui courent tout le long du train; de même l'excitation de toutes les dynamos est connectée aux fils 3, 4; chaque excitatrice E_1

E_2 est connectée directement aux fils 1, 2 ; mais elle est réunie aux fils 3, 4 par l'intermédiaire du rhéostat de champ et inverseur R_1 R_2. En plaçant tous les inverseurs dans la position du repos, sauf un seul, ce dernier permettra de régler simultanément le voltage de toutes les dynamos D, et par suite la vitesse de tous les moteurs M.

L'auteur escompte de grands avantages de l'emploi de ce système. Il estime que des trains beaucoup plus lourds pourront franchir les rampes, les ponts et les voies actuelles ; le coût d'entretien des locomotives et de la voie sera diminué ; les courbes actuelles pourront être franchies par des trains plus lourds ; la charge pourra être plus élevée pour les démarrages en

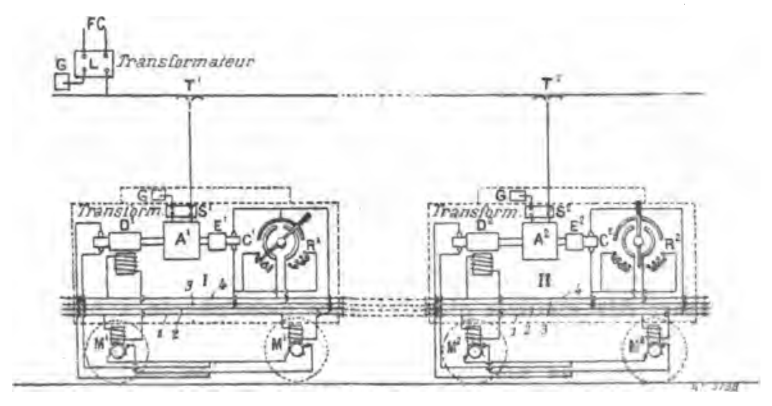


Fig. 1.

rampe, et le poids mort des locomotives et tenders sera notablement réduit. Ce système utilisera mieux le matériel, au point de vue de la fréquence et de la vitesse des trains que tout autre système électrique. La puissance des trains sera pour ainsi dire illimitée, puisqu'on pourra avoir autant d'essieux moteurs qu'on le voudra. On pourra récupérer 50 p. 100 de l'énergie dissipée actuellement dans les freins et les dangers d'électrolyse par les rails seront évités.

P.-L. C.

Emploi des accumulateurs pour vitesses variables, par **H.-B. Coho**. *Electrical Review* N.-Y. t. XLI, p. 732-733, 29 novembre 1902.

Pour les machines où l'on a besoin de vitesses variables, comme les presses d'imprimerie, on utilise souvent un groupe-moteur génératrice, où le moteur est une dynamo shunt, enroulé pour le voltage de la ligne, tandis que la génératrice est une dynamo à excitation séparée fournie par la ligne ; l'induit est enroulé pour donner un voltage pouvant varier de 12 à 40 volts suivant les besoins. L'auteur de cette communication cite l'application qui a été faite d'un tel système à une batterie d'accumulateurs.

La figure 1 montre les connexions entre la batterie et le moteur à travers le controller. La presse équipée avec ce système tournait à 12 tours par minute et exigeait un courant de 150 ampères à 40 volts. On a employé une batterie de 200 ampères-heure, qui peut servir à plusieurs presses, et a l'avantage de conserver une tension constante aux bornes.

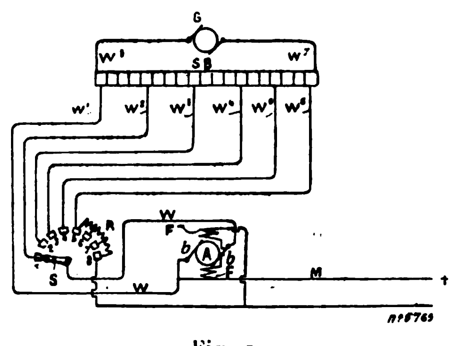


Fig. 1.

L'emploi d'une batterie placée sur la ligne pour la commande des ascenseurs fournit un excellent moyen de régler la vitesse. L'auteur recommande des durées de décharge de deux heures qui sont les plus économiques. On peut aussi employer avec succès les accumulateurs pour les machines-outils pourvues de moteurs à voltages multiples.

P.-L. C.



L'équipement électrique individuel des machines d'ateliers et son emploi, par **R.-T.-E. Lozier**. *Electrical Reviev*. N.-Y. t. XLI, p. 768-770. 6 déc. 1902).

L'équipement électrique des machines d'ateliers, et en particulier, des machines-outils est sorti de la période d'essai, et les usiniers peuvent maintenant baser sur des données certaines l'application individuelle de l'électricité à chaque machine.

Il est établi que les transmissions par courroies absorbent 50 p. 100 de la puissance totale d'un atelier; d'autre part le coefficient d'utilisation n'est pas supérieur à 30 p. 100, c'est-à-dire que la puissance moyenne absorbée par les machines en marche n'est que les 30 p, 100 de la puissance maxima absorbée par toutes les machines fonctionnant simultanément. De sorte que le rendement en marche normale est de 23 p. 100 seulement de la puissance produite $\left(\frac{30}{(100+30)\ 100}\right)$.

Si chaque machine est actionnée individuellement par un moteur, et en admettant une perte de 30 p. 100 dans la charge actuelle, avec le même coefficient d'utilisation, le rendement sera de 77 p. 100.

Dans une communication à la Société Electrique de New-York, l'auteur a montré qu'en prenant comme coût du cheval-heure à vapeur, le chiffre de 180 fr par an (3 000 heures), la force motrice, avec courroies, revient à 2 p. 100 des frais de l'usine; avec moteurs individuels, elle ne revient qu'à 0,4 p. 100.

En admettant que 60 p. 100 des moteurs d'un atelier soient à vitesse variable, la puissance à fournir par tous les moteurs fonctionnant simultanément devra être approximativement les 35 p. 100 de la capacité normale des moteurs installés; si l'on admet le coefficient d'utilisation de 30 p. 100, la station génératrice ne devrait avoir que 10,5 p. 100 de la puissance des moteurs installés; mais il va de soi qu'il est nécessaire de prévoir une capacité de la station génératrice avec une marge de 100 à 200 p. 100, en prévision des surcharges et de l'extension de l'atelier. En outre, l'auteur se défend de condamner absolument les transmissions par courroies qui ont leur sphère d'utilité propre; d'ailleurs les moteurs employés individuellement auraient un champ d'action fort restreint si l'on manquait de dispositifs à vitesses variables.

L'auteur examine les divers modes de réglages de la vitesse. La méthode qui consiste à faire varier la tension aux bornes, en absorbant une certaine partie de cette tension dans un rhéostat a quelques inconvénients : 1° Si la charge du moteur varie, la chute de tension dans le rhéostat ne reste pas constante; 2° le rendement est assez faible; 3° les dimensions du rhéostat sont souvent exagérées. Malgré cela, on obtient des variations de vitesse de 50 p. 100 dans des conditions acceptables; cette limite ne doit pas être dépassée, parce que les variations du couple entraîneraient de trop grandes fluctuations de la vitesse.

L'emploi de voltages multiples est incontestablement plus économique. On peut employer plusieurs génératrices donnant divers voltages sur plusieurs ponts; mais il est plus simple de n'employer qu'une seule génératrice; en divisant son voltage sur trois ponts, on obtient six combinaisons de tension qui suffisent largement pour la pratique. Une égalisatrice de faibles dimensions suffit pour compenser les écarts de voltage de chaque pont. Ce système a l'avantage de posséder un rendement élevé, de donner des vitesses faibles constantes, quelles que soient les variations du couple et de la charge; les manipulations en sont très simples et faciles.

L'auteur étudie ensuite les méthodes spéciales. Par exemple, pour les presses d'imprimerie où le démarrage est très pénible et où l'on a besoin de ralentir beaucoup la vitesse à certains moments, on emploie un petit moteur empruntant le courant, à pleine tension, au circuit général; ce moteur actionne une petite génératrice à bas voltage et courant intense; ce courant est envoyé dans le moteur de la presse au démarrage ou aux basses vitesses; la puissance du groupe auxiliaire est naturellement peu élevée.

Une autre méthode consiste à modifier le champ indicateur et par suite la force contre-électromotrice du moteur; l'emploi de cette méthode est limité par la production des étincelles au collecteur; et par l'affaiblissement exagéré du couple aux excitations très faibles. Dans les moteurs de construction normale, la vitesse ne peut être modifiée, avec cette méthode, de plus de 30 p. 100.

En combinant l'emploi des voltages multi-

ples, du rhéostat en série et de la variation de l'excitation, on obtient des variations de vitesse très étendues et très sensibles.

L'introduction de l'équipement électrique dans les ateliers a provoqué des complications économiques qui ont obligé les industriels à modifier les salaires. Deux systèmes ont été préconisés en Amérique. Le système des primes s'appuie sur les résultats acquis et le rendement de la main-d'œuvre pour établir les salaires moyens; l'ouvrier bénéficie d'un certain taux sur le gain supérieur aux prévisions. Dans le système du boni, on détermine la vitesse et le rendement de la machine-outil; le volume de matière à enlever détermine le temps nécessaire, à la vitesse et au rendement maximum; on suppose que l'ouvrier a à sa disposition la vitesse la mieux appropriée au genre de travail et on lui fournit des tableaux renfermant toutes ces indications. S'il effectue le travail dans le temps voulu, il touche, outre son salaire fixe, un boni déterminé.

La limite de la rapidité de la main-d'œuvre réside d'ailleurs dans la stabilité de la machine-outil, parce que les machines actuelles sont généralement construites d'après les rendements des anciennes machines. Pour montrer à quoi l'on peut arriver avec une bonne construction, l'auteur cite des résultats obtenus à la Bickford Drill and Tool C°, dont les perceuses peuvent actuellement forer des trous de 9,375 mm de diamètre, à raison d'un forage de 1,5 cm par révolution de l'outil.

P.-L. C.

DEUTSCHE ELEKTROCHEMISCHE GESELLSCHAFT

CONGRÈS DE WURZBURG (1).

Couche électrique double et potentiel absolu, par le Dr **J. Billitzer**. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. VIII, p. 638.

D'après H.-V. Helmholtz, une couche double serait caractérisée par la présence sur les côtés opposés d'une surface, de deux couches extrêmement rapprochées, chargées également, l'une positivement, l'autre négativement. Quoique très petite, la distance qui sépare ces deux couches reste toujours suffisamment grande pour qu'un courant agisse sur elles, la couche positive formant pôle négatif et la couche négative pôle positif. Il en résulte un déplacement des deux couches qui peut amener des phénomènes de mouvement (expériences de Quincke, Wiedemann etc.) lorsque la couche double apartient à système dont les parties sont mobiles l'une par rapport à l'autre, comme elle se forme par exemple à la surface limite d'un liquide dans un tube capillaire.

Le sens et la vitesse du mouvement, dans ces cas, dépendront du sens et de la grandeur de la différence de potentiel à l'intérieur de la couche double. Si on réussit, par des variations quelconques, à agir sur la grandeur de cette différence de potentiel ou à intervertir le sens de la chute de potentiel, il en résulte aussi une variation de la vitesse et du sens du mouvement et c'est seulement après complète disparition de la couche double que cesse tout mouvement.

Du sens du mouvement, on peut déduire le sens des charges d'une couche double, et au point d'inversion du mouvement, c'est-à-dire au moment de la disparition de la couche double, on a un système de deux corps qui ne possèdent entre eux aucune différence de potentiel. On a constitué ainsi une électrode qui peut servir à déterminer la différence de potentiel absolue entre la solution et chacune des électrodes si on relie l'une de celles-ci à l'électrode supplémentaire et qu'on fasse la mesure à l'aide d'une méthode de compensation.

Pour construire une telle électrode, on prend un conducteur très fin que l'on fond en une petite boule à sa partie inférieure, on la fixe à sa partie supérieure à un fil de quartz pas trop court ; l'ensemble est introduit dans les différents liquide de recherche. La boule prend alors une charge déterminée ; si on la suspend entre deux électrodes traversées par un courant, elle éprouve une déviation qui correspond au sens et à la grandeur de sa charge et peut être observée facilement avec un petit microscope et dans la plupart des cas à l'œil nu. Après rupture du courant, le pendule reprend sa position de repos. Des actions électrostatiques peuvent s'exercer lorsque l'électrode de mesure n'est pas placée exactement symétriquement par rapport aux électrodes; mais on élimine facilement cette

(1) Voir *Écl. Élect.*, t. XXXIII, p. 286, 357 et 460, 22 nov., 6 et 27 déc. 1902 ; t. XXXIV, p. 24, 3 janv. 1903.



erreur en faisant deux observations avec le courant dans les deux sens.

L'auteur a vérifié que dans les conditions les plus différentes on obtient toujours le même point d'inversion. Pour les trois métaux essayés : platine, argent, mercure, l'inversion était en complet accord avec la formule de Nernst. Ainsi le platine se comporte entièrement comme une électrode — oxygène ou hydrogène. Recouvert d'oxygène, comme cela a lieu habituellement par contact avec l'air, il se charge négativement dans la plupart des solutions. Si cependant on élève sa charge en oxygène en ajoutant un oxydant, comme par exemple H^2O^2, il se charge positivement. Chargé électrolytiquement d'oxygène, il devient négatif dans les solutions alcalines faibles et positif dans les solutions acides faibles.

Ainsi, il se charge positivement s'il envoie des ions négatifs oxygène et négativement s'il reçoit ceux-ci. Les mêmes conclusions sont valables pour le cas d'une charge d'hydrogène dans les solutions réductrices plus ou moins fortes. Le mercure et l'argent employés dans des solutions de leurs ions suivent les mêmes règles. Dans tous les cas l'inversion est observée. Le point d'inversion est déterminé par interpolation en mesurant la différence de potentiel de la combinaison choisie à l'aide d'une électrode au calomel préparée avec KCl déci-normal.

Comme exemple, on trouve que le déplacement de la boule de platine, dans une solution de formaldéhyde de concentration variable a lieu dans le sens d'une charge positive si une électrode de platine présente par rapport à l'électrode-calomel (KCl déci-normal) des différences de potentiel de $+0,17$; $+0,15$; $+0,14$; $+0.13$ volt. Elle se comporte, au contraire, comme un corps chargé négativement lorsque les différences de potentiel précédentes deviennent $+0,12$; $+0,11$; $+0,10$; $+0,09$ volt. Le point d'inversion est situé à $+0,125$ volt environ (toujours mesuré avec l'électrode-calomel). Cette valeur représente ainsi le potentiel absolu de l'électrode-calomel. Pour le mercure qui est polarisé au maximum de la tension superficielle on trouve environ $+0,74$ volt.

Les différents faits examinés par l'auteur montrent que les particules en suspension agissent comme des corps chargés libres. Ainsi se comporte un sel qui est dissocié en ses ions.

L. J.

Sur l'élément normal, par le professeur **Dr E. Cohen,** d'après des recherches du Dr H.-C. Bijl. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. VIII, p. 643.

On sait que des recherches sur l'élément normal au cadmium ont montré que les différences de force électromotrice que présentent certains éléments proviennent de transformations de l'amalgalme de cadmium ; aussi est-il intéressant d'étudier les propriétés de cet amalgame.

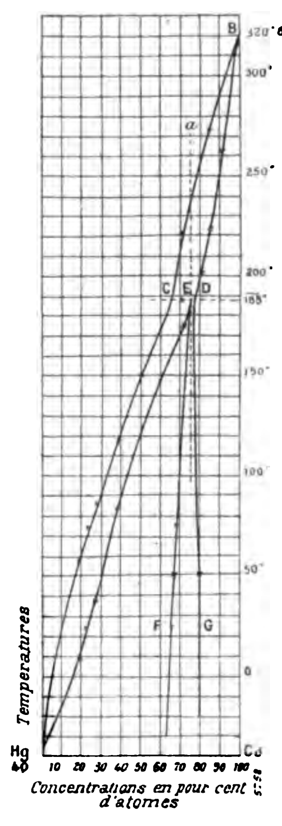


Fig. 1.

A. *Phénomènes de solidification et de fusion.* — Ces phénomènes étaient étudiés d'après la méthode thermique et d'après la mesure des dilatations. Par la première, on déterminait le commencement et la fin de la cristallisation. On pouvait ainsi tracer les courbes des points de commencement et de fin de cristallisation en fonction de la concentration de l'amalgame.

Pour toutes les concentrations le point initial de solidification survient très vivement et si on représente graphiquement les températures ob-



servées, en fonction du temps, on constate un retard de la solidification.

Pour déterminer la courbe de fin de solidification (ou de commencement de fusion) on utilisait la méthode de dilatation. Tous les amalgames se dilatent par élévation de température ; mais beaucoup plus à l'état de fusion qu'à l'état solide. Les courbes AE et DB (fig. 1) se rapportent aux points de commencement de fusion. On constate une brisure à 188° C.

A la température 188° existent avec la partie fluide C, des cristaux de concentrations D et E. Dans les mélanges solides, il y a ainsi discontinuité. Si on vient des températures plus élevées à 188° C. on n'a que $L_C + S_D$. A 188° peut survenir S_E ; mais formé seulement d'après $L_C + S_D$. S'il s'agit d'une composition totale qui correspond à un point de gauche de la ligne *aa*, la quantité L_C dans le système hétérogène $L_C + S_D$ est si grande qu'elle n'est pas entièrement transformée, mais qu'une partie reste avec la partie S_E nouvellement formée.

Si la température baisse, on descend de CA en EA et tout est devenu solide quand on a atteint le point de EA qui correspond à la composition totale du mélange. On a alors un mélange de cristaux homogènes.

Mais lorsque la composition totale correspond à un point à droite de *aa*, au-dessous de 188°, la transformation $L_C + S_D = S_E$ conduit à une consommation totale de la partie liquide L_C pendant qu'une partie de S_D reste. A la fin de la transformation, tout est devenu solide en un mélange des cristaux S_E et S_D.

La discontinuité entre les séries du mélange est petite. Les mesures électriques montrent que cette discontinuité existe aussi à des températures plus basses.

B. *Propriétés électromotrices de l'amalgame de cadmium.* — Les forces électromotrices des amalgames de cadmium de différentes concentrations étaient mesurées par rapport à un amalgame déterminé (20,73 p. 100 de cadmium, en atome). Dans tous les cas, on utilisait comme électrolyte une solution de 76,54 p. 100 $CdSO^4 . 8/3\, H^2O$ dans l'eau.

On mesurait les forces électromotrices des couples $HgCd_{x\ p.\ 100}$ |solution $CdSO^4$| $HgCd_{20,73\ p.\ 100}$ aux températures 25, 50 et 75°C. On mesurait aussi la force électromotrice de $Hg|Hg^2SO^4|$solution $CdSO^4|HgCd_{20,73\ p.\ 100}$ et on en déduisait la valeur de $Hg|Hg^2SO^4|$solution $CdSO^4|HgCd_{x\ p.\ 100}$. Le tableau suivant ainsi que la figure 2 indiquent les résultats obtenus.

Forces électromotrices, en volts, des chaînes $Hg | Hg^2SO^4 |$ *solution* $Cd SO^4 | Hg Cd_{x\ p.\ 100}$.

CADMIUM en p. 100 en atomes x.	25° C.	50° C.	75° C.
1,99	1,0091	0,9962	0,9835
4,98	1,0217	1,0099	0,9978
9,47	1,0311	1,0199	—
9,83	1,0311	1,0206	—
9,86	1,0311	1,0208	—
10,13	1,0311	1,0206	1,0098
13,01	1,0311	1,0256	—
17,53	1,0311	1,0293	1,0207
19,80	1,0311	1,0295	—
22,96	—	—	1,0273
28,51	—	1,0293	1,0284
30,32	1,0381	1,0303	—
32,89	1,0405	1,0322	1,0280
37,87	1,0485	1,0398	1,0313
39,46	1,0502	1,0422	—
45,24	1,0568	1,0483	1,0401
47,91	1,0606	1,0530	—
55,00	1,0660	1,0575	1,0493
56,37	1,0659	1,0584	—
61,98	1,0707	1,0626	—
65,20	1,0729	1,0652	1,0569
70,16	—	1,0662	—
70,97	1,0737	1,0657	1,0579
75,01	1,0751	1,0699	1,0591
75,67	1,0748	1,0670	—
79,92	—	1,0683	1,0609
86,48	1,0783	1,0709	—
86,95	1,0788	1,0708	1,0629
94,90	1,0803	1,0725	1,0647
95,00	1,0806	1,0728	—
100,00	1,0811	1,0738	1,0657

La figure 2 montre qu'à la température 25°C. la partie horizontale de la courbe commence à 9 à 10 p. 100 de Cd et finit à 23 à 24 p. 100 de Cd. On voit d'après la figure 1 que c'est également en ces points que les lignes AC et AE sont coupées à la température 25°C.

A cette température les amalgames renfermant moins de 9 p. 100 Cd sont des mélanges homogènes fluides dont la force électromotrice croît avec la concentration. Cette force électromotrice croît d'abord très rapidement puisqu'une addition de 1 p. 100 Cd fait monter de 0 à 1 000 millivolts la force électromotrice qui ne croît plus ensuite que de 80 millivolts jusqu'au cadmium pur.

De 9 à 24 p. 100 Cd existe, à cette même

température, un système hétérogène dont la partie solide possède la même force électromotrice que la partie liquide de sorte qu'on obtient les mêmes forces électromotrices pour toutes les proportions comprises entre 9 et 24 p. 100 Cd.

Sans entrer dans plus de détails sur toutes les particularités des courbes, on constate que les parties horizontales sont d'autant plus lon-

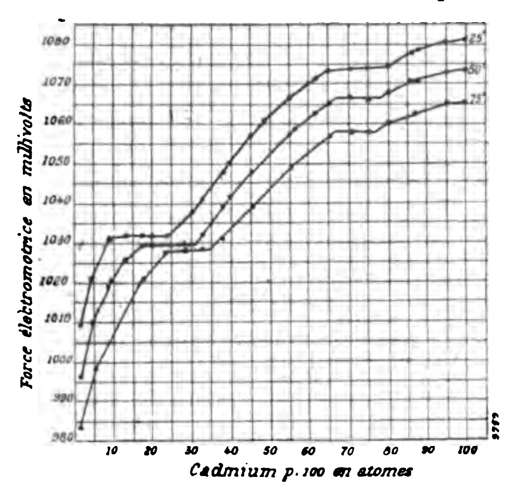


Fig. 2.

gues que la température est plus basse. La valeur limite de la force électromotrice est atteinte de suite par les amalgames liquides ; pour les amalgames de la portion horizontale, elle survient après un temps court. Il est très surprenant, cependant, que les amalgames complètement solides atteignent leur valeur limite après quelques jours seulement.

La limite est atteinte le plus lentement avec ceux des amalgames voisins de la partie horizontale et qui par conséquent sont presque solides. C'est dans les éléments qui renferment les amalgames de cette composition qu'apparaissent principalement ces retards. L. J.

Sur les qualités électromotrices de l'ozone, par le professeur Dr **R. Luther**. *Zeitschrift f. Electrochemie*, t. VIII, p. 645.

L'auteur a constaté qu'une électrode ozone, constituée par une électrode de platine plongeant dans une solution d'ozone, prend un potentiel d'oxydation plus élevé lorsque l'électrode de platine a été antérieurement chargée d'hydrogène ; elle prend, au contraire, un potentiel plus faible si l'électrode a été saturée d'oxygène. Ainsi par l'introduction du réducteur hydrogène, l'ozone devient un oxydant plus puissant, de sorte que l'électrode-ozone est « activée » par l'hydrogène. Il s'agit ici vraisemblablement d'activité rapportée à l'état naissant et dont Haber a donné l'interprétation suivante : par l'introduction d'hydrogène, l'oxygène existant sur l'électrode devient consommé. Comme l'ozone est réduit électrolytiquement en oxygène, la concentration du produit existant devient diminuée et en même temps doit augmenter le potentiel d'oxydation de l'ozone. De même s'élèvent les potentiels d'oxydation du chlore ou de l'oxygène par diminution de la concentration des ions-chlore ou des ions-hydroxyle.

L'auteur parle ensuite de certains cas particuliers d'électrolyse, dans lesquels, à l'inverse de ce qui se passe ordinairement, des phénomènes d'oxydation ont lieu à la cathode, et des phénomènes de réduction, à l'anode. Si, par exemple, on prend un tube en U renfermant de la liqueur de Fehling et qu'on électrolyse entre une cathode de platine et une anode de cuivre, on trouve qu'il se forme à l'anode un abondant dépôt d'oxydule de cuivre pendant qu'il se dépose du cuivre à la cathode, de telle sorte qu'il se produit un phénomène de réduction aux deux pôles. Cette action s'explique par ce fait que l'acide tartrique est électrolysé et oxydé en acide formique qui, quoique d'un degré d'oxydation supérieur, est encore un réducteur énergique ; le formiate réduit ainsi la liqueur de Fehling. De même, on obtient une précipitation d'or à l'anode, en solution tartrique ou dans l'alcool méthylique en solution alcaline ; dans ce dernier cas, l'alcool est oxydé en formaldéhyde qui réduit l'or.

Lorsqu'on électrolyse une solution ammoniacale additionnée de bromure et de permanganate de potassium, le bromure est oxydé, à l'anode, en hypobromite ; celui-ci oxyde l'ammoniaque en hydroxylamine qui réduit le permanganate rouge en manganate vert.

Une solution saturée de carbonate de soude additionnée soit d'une solution d'or, soit de permanganate de potassium montre également par électrolyse une réduction à l'anode. C'est que le percarbonate, produit primaire de l'électrolyse, donne de l'eau oxygénée qui réduit, comme on sait, les solutions d'or et de permanganate.

Comme phénomènes d'oxydation à la cathode, on peut citer le cas d'une solution de nitrate



faiblement acide et additionnée d'iodure de potassium. Il se forme, à la cathode, de l'acide nitreux qui oxyde en iode l'iodure de potassium.

L'auteur croit que l'étude quantitative de telles réactions peut non seulement expliquer le mécanisme de maintes réactions compliquées ; mais encore servir à la chimie purement préparative.

L. J.

***Sur les solutions colloïdales*, par le Dr R. Zsigmondy.** *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. VIII, p. 684.

Graham a défini les solutions colloïdales, celles des substances amorphes qui se distinguent des cristalloïdes par leur lenteur à diffuser au travers des membranes.

Différents auteurs (Lobry de Bruyn, Hardy, Bredig, Donnan) ont montré qu'il y a lieu de considérer la grosseur des particules dans les solutions colloïdales. Le microscope peut permettre de mesurer la limite supérieure de cette grosseur ; mais on ne connait pas jusqu'ici de méthodes de détermination de la limite inférieure. Entre les plus petites dimensions visibles au microscope et les dimensions moléculaires se trouve un champ inaccessible.

Une méthode microscopique de l'auteur en collaboration avec le Dr H. Siedentopf permet d'apprécier la grandeur et quelques propriétés physiques de particules excessivement divisées et que les moyens actuels ne permettaient pas d'obtenir.

L'auteur ne décrit pas ici cette méthode, par suite de différentes considérations ; il donne seulement quelques résultats obtenus. Il présente des verres qui renferment de l'or dans un état plus ou moins divisé et de coloration variable.

Avec de l'or dont les particules ont comme diamètre à peu près la longueur d'onde de la lumière, on obtient un verre presque incolore, avec un léger trouble possédant une teinte saphir.

Un autre verre peu coloré possède un trouble remarquable, de couleur rubis et constitué par des particules d'un cinquième de longueur d'onde de diamètre.

Un verre de couleur rouge clair possède des particules de 20.10^{-6} mm de diamètre. Avec des particules ayant moins de 10.10^{-6} mm de diamètre, on obtient un verre rubis intense.

On reconnaît que les propriétés dépendent de l'état de division de l'or. C'est ainsi que le premier verre ne présente pas de bandes d'absorption dans la partie visible du spectre, tandis que le dernier donne des bandes d'absorption très nettes dans le vert. Par contre, la coloration ne peut pas servir à la détermination de la grosseur des particules, les mêmes nuances pouvant être obtenues avec des dimensions différentes.

Dans les liquides, on obtient une division semblable de l'or ; mais on observe en outre ici que les plus grosses particules flottent à l'état de repos tandis que les plus petites sont animées de mouvements très rapides. Avec l'or on trouve deux mouvements combinés : mouvement de translation par lequel les particules parcourent 100 à 1 000 fois leur diamètre propre en 1/6 à 1/8 de seconde, et mouvement d'oscillation, de période excessivement courte. Ce mouvement dépend d'un continuel mélange du liquide et il peut durer des heures, des semaines, des mois et quelquefois même des années.

Plus les particules sont petites, plus le mouvement devient rapide et plus aussi leurs propriétés générales se distinguent de celles de l'or massif.

D'autres solutions colloïdales montrent dans beaucoup de cas l'existence de particules plus grosses qui polarisent la lumière, à côté de parties qui ne la polarisent pas.

Un verre qui renferme l'or en particules de 20μ ($1 \mu = 1.10^{-6}$ mm) reste clair aussi bien par transparence que par réflexion.

Les solutions colloïdales d'oxydes, de blanc d'œuf, etc., dont les propriétés optiques se rapprochent de celles du dissolvant, renferment des particules encore plus grosses et dont la présence occasionne un trouble. L'auteur signale comme réactif des colloïdes la propriété qu'ont la plupart de ceux-ci d'empêcher le changement de coloration que l'addition d'électrolyte occasionne dans une solution colloïdale d'or.

Ainsi une solution d'or rouge a permis de distinguer dans l'albumine du blanc d'œuf de poule trois corps de propriétés différentes : 1° une albumine cristallisée dont il fallait environ 8 mmg pour empêcher le changement de coloration produit par 1 gr de chlorure de sodium dans 10 cm³ de solution d'or ; 2° une albumine amorphe dont 0,06 mmg suffisaient pour produire le même effet ; 3° entre ces deux fractions se plaçait encore une troisième qui renfermait un corps se distinguant de la plupart des autres colloïdes par son action précipitante sur l'or colloïdal.

L. J.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXXIV | Samedi 14 Février 1903. | 10e Année. — N° 7

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

NOUVEAU MATÉRIEL POUR GRANDE TRACTION

A COURANT ALTERNATIF SIMPLE

La traction sur voie ferrée par courant alternatif simple présente, au point de vue de l'installation et de l'entretien des lignes, une telle simplicité que, dans ces derniers temps, à la suite des essais de M. Lamme, on a étudié de divers côtés la réalisation d'un moteur à collecteur à courant alternatif simple démarrant sous charge et susceptible d'un fonctionnement convenable en régime normal. L'attention des techniciens s'est trouvée ainsi reportée sur le moteur série ordinaire à collecteur et sur le moteur à répulsion de M. Steinmetz.

Disons, tout d'abord, au sujet de ces deux types de moteurs, que leur puissance spécifique peut atteindre exactement celle du moteur d'induction monophasé et que la grandeur du couple de démarrage y est, comme dans les moteurs d'induction polyphasés, subordonnée à l'exiguïté de l'entrefer et à la réduction des flux de fuite.

Cette dernière circonstance doit conduire, à notre avis, à adopter ici, comme dans les moteurs d'induction, un inducteur annulaire avec bobinage distribué dans des encoches. Il est bien entendu que l'on a, dans tous les cas, la ressource d'augmenter le couple de démarrage en élevant la tension d'alimentation. Au point de vue de la commutation, il est à remarquer que, *à toute vitesse*, cette dernière est gravement troublée par des phénomènes d'induction statique dans les spires en court-circuit. Le facteur de puissance de ces moteurs d'autre part, ne dépassera pas généralement celui des moteurs d'induction monophasés.

Un grand pas a été fait, lorsqu'on a songé à expérimenter ces moteurs avec les basses fréquences que la maison Ganz et Cie a adoptées pour la traction à courants polyphasés.



Avec de basses fréquences, en effet, le fonctionnement devient essentiellement meilleur et la construction des moteurs au point de vue de l'entrefer et du sectionnement du collecteur beaucoup plus aisée. Cependant, il est permis de se demander si la construction de gros moteurs ne donnerait pas lieu à quelques déceptions en ce qui concerne la commutation et le facteur de puissance.

Il m'a semblé que de tels moteurs conservaient, dans tous les cas, un vice inhérent à leur essence même (induction parasite dans les spires en court-circuit), avec lequel il fallait compter, et que l'on ne retirait pas chez eux, de l'usage du collecteur, les avantages que l'on est en droit d'attendre de l'application judicieuse de cet organe en courants alternatifs. A ce propos, j'ai été personnellement conduit à imaginer un moteur sans déphasage dans lequel, grâce à l'emploi d'un collecteur, le champ est produit par le rotor au lieu

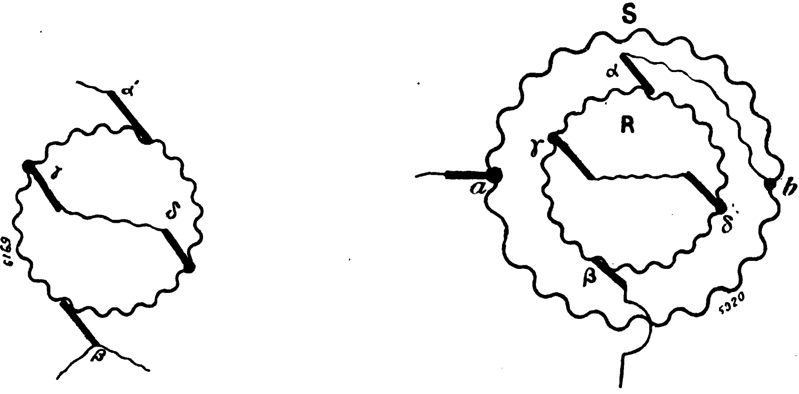


Fig. 1 et 2.

d'être produit par le stator. Ce moteur possède la propriété remarquable d'avoir une vitesse de régime sensiblement synchrone pour laquelle le rotor n'est soumis à aucun phénomène d'induction. Le champ de la machine devient un champ tournant, comme dans les machines à courants polyphasés, et ce champ tourne sensiblement en synchronisme avec le fer du rotor. Les harmoniques seuls peuvent donc venir troubler la commutation. Conformément à la nature des choses, je rétablis ainsi, même avec le collecteur, la sujétion du synchronisme dont tant d'inventeurs ont, précisément grâce à lui, cherché à s'affranchir.

Considérons (fig. 1) un induit à collecteur que nous supposerons disposé dans un milieu magnétique. Introduisons un courant alternatif simple $I \sin \omega t$ par deux balais $\alpha\beta$ à 180°. L'induit a une certaine inductance $l\omega$. Lançons l'induit à une vitesse quelconque ω_1. L'inductance apparente de l'induit ne varie pas et la commutation, d'ailleurs, devient d'autant plus pénible que la vitesse ω_1 est plus élevée.

Disposons simplement deux balais $\gamma\delta$ à 90° des balais $\alpha\beta$ (fig. 2). Dès que l'induit tourne sous le champ produit par le courant $I \sin \omega t$, suivant la ligne $\alpha\beta$, il y a une force électromotrice induite entre les balais $\gamma\delta$. Cette force électromotrice est en phase avec le courant $I \sin \omega t$.

Si donc nous mettons les balais $\gamma\delta$ en court-circuit l'un sur l'autre, le conducteur de jonction devant être traversé par un courant de court-circuit presque exactement en quadrature avec la force électromotrice induite entre balais, sera traversé par un courant presque en quadrature avec le courant $I \sin \omega t$. Ce sera par suite un certain courant $J \cos \omega t$.



Si l'on néglige la résistance de l'enroulement de l'induit devant son inductance, on démontre sans difficulté que l'on a $J = I\frac{\omega_1}{\omega}$.

En dehors du champ magnétique alternatif créé suivant la ligne $\alpha\beta$ et proportionnel à I, on dispose donc suivant $\gamma\delta$ d'un deuxième champ en quadrature dans le temps comme dans l'espace avec ce premier champ proportionnel à $J = \frac{\omega_1}{\omega} I$. Comme l'induit tourne également sous ce dernier champ dirigé suivant $\gamma\delta$, il y a de ce chef, une force électromotrice induite entre les balais $\alpha\beta$. Cette force électromotrice étant en phase avec $J \cos \omega t$ se trouve en opposition avec la force électromotrice de self-induction $- l\omega I \cos \omega t$ induite de façon statique entre les balais $\alpha\beta$. Elle peut donc contre-balancer son effet et même le dépasser. L'inductance apparente de l'induit devient égale, en réalité, en grandeur et en signe à $l(\omega - \omega_1)$. Elle s'annule au synchronisme pour devenir négative au-dessus.

D'autre part, le champ magnétique suivant la ligne des balais $\gamma\delta$, étant un champ variable, induit de façon statique une certaine force électromotrice dans les spires en court-circuit sous les balais $\alpha\beta$ précisément en phase avec le courant $I \sin \omega t$ commuté sous ces balais. Cette force électromotrice représente, à vrai dire, une force électromotrice de renversement toujours appropriée pour la commutation sous les balais $\alpha\beta$. Inversement, le flux alternatif suivant $\alpha\beta$ induit une certaine force électromotrice dans les spires en court-circuit sous les balais $\gamma\delta$. On se rend compte immédiatement que cette force électromotrice garde à toute vitesse une valeur constante qui ne dépend que de $I \sin \omega t$. Elle a toujours le sens voulu pour commuter le courant $J \cos \omega t$. Cependant sa grandeur ne convient exactement que pour la marche synchrone. Au-dessous du synchronisme tout se passe comme si l'on avait sous les balais $\gamma\delta$ une force électromotrice de renversement trop forte et au-dessus du synchronisme une force électromotrice de renversement trop faible.

Considérons le moteur de la figure 2 constitué par un stator ordinaire de moteur d'induction S et un rotor à collecteur R identique à l'induit de la figure 1. La théorie générale du moteur supposerait évidemment un calage arbitraire du jeu de balais $\alpha\beta$, $\gamma\delta$ par rapport à *a b*. Mais pour la simplicité d'une première exposition supposon $\alpha\beta$ perpendiculaire à *ab*.

La marche en régime normal sensiblement synchrone est des plus simples. Dans le court-circuit $\delta\gamma$, nous avons la superposition des courants suivants :

1° Un courant d'amortissement qui annule les ampères-tours du stator. En effet, le court-circuit $\gamma\delta$ fait écran à tout flux tendant à se produire dans sa direction.

2° Un courant développé par la rotation du rotor sous le champ alternatif créé directement suivant $\alpha\beta$. Ce courant est en quadrature avec celui introduit par les balais $\alpha\beta$. Il contribue donc avec ce dernier à la création d'un champ tournant qui se déplace en synchronisme avec le rotor.

Le moteur travaille sans déphasage et sans étincelles et l'on ne constate entre les balais $\alpha\beta$ qu'un voltage sensiblement égal à la chute ohmique. Le rotor n'étant sujet qu'à des pertes négligeables dans le fer on peut y adopter évidemment les inductions les plus économiques.

Conformément à ce que je fais dans l'alternateur série à courants polyphasés on pourrait, en vitesse, disposer un shunt en dérivation sur les balais $\alpha\beta$ pour éconduire les harmoniques.

Considérons la période de démarrage. A ce moment le court-circuit $\gamma\delta$ est parcouru par le seul courant d'amortissement qui annule les ampères-tours du stator. Ce dernier est en conséquence dépourvu de self-induction et tout le voltage du réseau est supporté par le rotor entre les balais $\alpha\beta$. La self-induction de ce dernier au repos limite donc seule l'accès



du courant. Si le moteur a un entrefer faible, les spires sur le rotor sont relativement peu nombreuses. Il en résulte que le courant absorbé sous la tension normale peut facilement atteindre deux ou trois fois le courant normal.

Le couple de démarrage peut donc être très énergique. Il est intéressant de remarquer que le démarrage se fait sans rhéostat et n'entraîne qu'une absorption de courants déwattés. Le rendement du moteur est excellent à toute vitesse.

Nous n'avons pas tenu compte du flux de fuite du stator. Ce dernier diminuera évidemment le couple de démarrage pour une tension donnée. En outre, pour avoir vraiment un moteur sans déphasage en marche sensiblement synchrone, les balais $\alpha\beta$, $\gamma\delta$ devront absolument être décalés d'un certain angle en sens contraire du mouvement. La compensation du flux de fuite du stator se fera par une surexcitation appropriée du rotor. L'exposition du moteur devient alors un peu plus compliquée et il faut établir un diagramme de fonctionnement. Il est bien entendu qu'on peut travailler avec un déphasage négatif soit, comme dans les moteurs synchrones, en surexcitant le rotor, soit suivant le principe que j'ai exposé plus haut, en marchant notablement au-dessus du synchronisme de façon à faire fonctionner le rotor en condensateur. Mais ce dernier procédé est dangereux au point de vue de la commutation et l'on ne doit prévoir un tel fonctionnement qu'accidentellement. Il sera dans tous les cas, intéressant de compenser par un déphasage négatif permanent les à coup de courant déwatté constitués par les démarrages.

Sans préjuger encore de l'avenir du moteur sans déphasage objet de mon invention, il semble bien que le moteur série ordinaire,dont on a parlé beaucoup dans ces derniers temps, ne conserve plus dès à présent un grand sens technique ou industriel. Le moteur sans déphasage est au surplus d'autant plus intéressant que, convenablement calculé, il fonctionne en génératrice auto-excitatrice. On adoptera évidemment les formes shunt et compound. Dans un système de traction par courant monophasé, on prévoit l'utilisation à l'usine de génératrices du même type que celui des moteurs travaillant sur la voie.

Des résultats d'essai sur de semblables machines [1] pourront être prochainement communiqués.

Marius LATOUR.

NOTE SUR L'ESSAI DES MOTEURS ASYNCHRONES

On peut appliquer aux moteurs asynchrones une méthode d'essai analogue à la méthode d'Hopkinson, modifiée par M. Potier, employée pour les dynamos à courant continu.

On utilise à cet effet la propriété des moteurs asynchrones, de fonctionner comme génératrices, lorsqu'on les fait tourner à une vitesse supérieure à celle du synchronisme, après les avoir branchés sur un réseau.

Considérons par exemple deux moteurs triphasés identiques M_1 et M_2 (fig. 1) branchés sur un réseau de tension et de fréquence appropriées ; plaçons sur ces deux moteurs deux poulies de diamètres différents D_1 et D_2 ($D_1 > D_2$), et réunies par une courroie.

(1) Des moteurs sont en construction aux établissements Postel-Vinay. Un mémoire explicatif a été présenté à la G.-E. C° en novembre 1902 au sujet de ces moteurs et du réglage de leur vitesse.



Si l'on met le courant du réseau sur les deux moteurs, il est évident que M_1 fonctionne comme moteur et M_2 comme génératrice asynchrone.

Les vitesses relatives de M_1 et M_2 ainsi que les intensités dans leurs stators dépendent du rapport des deux diamètres D_1 et D_2. Supposons ce rapport choisi de telle sorte que l'intensité moyenne $\frac{I_1 + I_2}{2}$ soit sensiblement égale à l'intensité absorbée à pleine charge par chacun des moteurs.

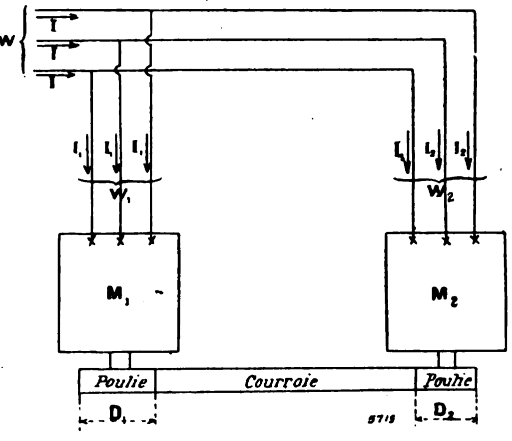


Fig. 1.

Soit I le courant fourni par le réseau, I_1 et I_2 les intensités dans les stators de M_1 et M_2 (les intensités sont comptées positivement dans le sens des flèches) ; W la puissance fournie par le réseau ; W_1 la puissance absorbée par M_1 ; W_2 la puissance rendue par M_2 ; φ, φ_1 et φ_2 les angles de décalage des courants I, I_1 et I_2 par rapport à la tension du réseau.

Les intensités et les puissances peuvent se mesurer directement au moyen d'ampèremètres et de wattmètres ; quant aux angles de décalage ils se déduisent immédiatement des mesures précédentes.

Détermination du rendement. — Le rendement global de l'ensemble des deux moteurs et de la courroie est égal à $\frac{W_2}{W_1}$. Soit ρ le rendement de la courroie ; r_1 et r_2 les rendements de M_1 et M_2. On a

$$\frac{W_2}{W_1} = r_1 r_2$$

On peut prendre pour ρ une valeur approchée, par exemple 0,98, et admettre en outre, comme dans le cas des machines à courant continu que $r_1 = r_2$. On a alors

$$r_1 = r_2 = \sqrt{\frac{W_2}{0,98 \times W_1}}$$

Vérification des mesures. — Les intensités I, I_1 I_2 sont reliées par la relation suivante :

$$(I) = (I_1) + (I), \tag{1}$$

cette égalité étant entendue pour les vecteurs représentant les intensités. Cette relation peut se remplacer par les deux suivantes, exprimant respectivement l'égalité des courants wattés et déwattés :

$$I \cos \varphi = I_1 \cos \varphi_1 + I_2 \cos \varphi_2 \tag{2}$$
$$I \sin \varphi = I_1 \sin \varphi_1 + I_2 \sin \varphi_2. \tag{3}$$

Si l'on tient compte des signes, la relation (2) est équivalente à la suivante :

$$W = W_1 - W_2 \tag{4}$$

Les quantités mesurées devront donc satisfaire aux relations (3) et (4) et on aura ainsi une vérification de l'exactitude des mesures.

Représentation géométrique. — Cette vérification peut également se faire géométriquement.



Soient Ox et Oy les axes des courants wattés et déwattés (fig. 2). Portons en Oa le courant I_1, en ab le courant I_2 et à partir de b le courant I ; si les mesures étaient rigoureusement exactes, l'extrémité du vecteur représentant I viendrait en O. Il n'en sera généralement pas ainsi et l'extrémité du vecteur I viendra en O' ; le vecteur OO' représente l'erreur des mesures. Si cette erreur n'est pas trop grande, on peut la répartir entre les points a et b en déplaçant ces points parallèlement à OO' de quantités respectivement égales à 1/3 et à 2/3 de OO'. On obtiendra ainsi un triangle rectifié des courants O A B. On peut mesurer sur la figure ainsi obtenue les valeurs corrigées Φ, Φ_1 et Φ_2 des angles φ, φ_1 et φ_2, et des intensités I, I_1 et I_2. Enfin le rendement global corrigé est égal à $\frac{A_1B_1}{A_1O}$

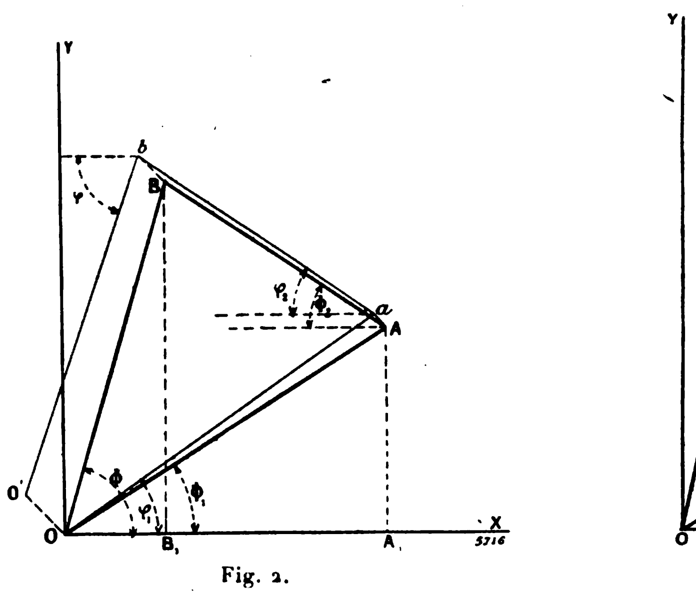


Fig. 2.

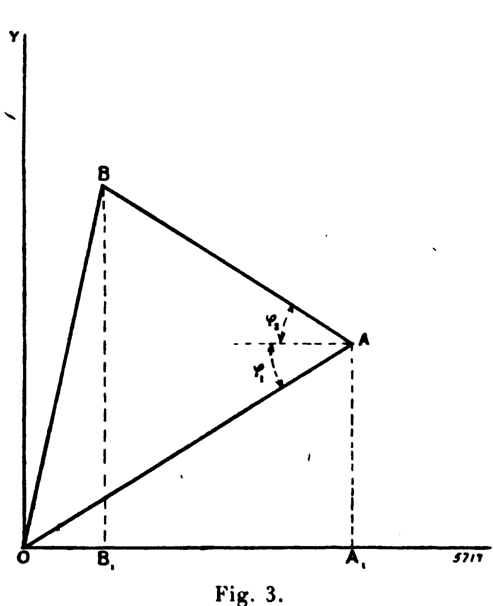


Fig. 3.

Mesure du rendement et du facteur de puissance sans l'emploi de wattmètres. — On peut également par cette méthode déterminer le rendement et le facteur de puissance en employant uniquement des ampèremètres.

Mesurons les intensités I, I_1 I_2 ; nous pouvons construire un triangle O A B (fig. 3) avec 3 longueurs proportionnelles à ces intensités. Pour fixer la position de ce triangle par rapport aux axes des courants wattés et déwattés nous pouvons admettre l'égalité des angles φ_1 et φ_2, de même que nous avons admis celle des rendements ; les axes Ox et Oy sont alors les parallèles menées par O aux bissectrices des angles A. Une fois les axes fixés, la figure donne, comme il a été dit plus haut, les rendements et les angles de décalage.

Dans ce cas les mesures ne comportent aucune vérification.

Comparaison avec la méthode d'essai des machines a courant continu. — Pour les moteurs asynchrones la méthode est moins précise que pour les machines à courant continu, car on est obligé d'employer une courroie au lieu de l'accouplement direct, et l'on doit évaluer approximativement le rendement de la transmission.

En outre, on ne peut pas, comme on le fait avec les dynamos à courant continu, faire varier l'intensité dans les machines à essayer ; celle-ci ne dépend en effet que du rapport des diamètres des deux poulies et, pour faire des essais à différentes puissances, on devra modifier ce rapport.



Nous croyons toutefois que, malgré une certaine complication, la méthode précédente peut, dans certains cas, présenter quelque utilité, particulièrement pour les raisons suivantes :

1° Parce qu'elle permet de déterminer approximativement le rendement et le facteur de puissance sans l'emploi de wattmètres, instruments que l'on n'a pas toujours sous la main.

2° Parce que, comme pour les machines à courant continu, elle permet de faire des essais de durée sans grande dépense d'énergie. Il faut toutefois remarquer que, bien que le réseau n'ait à fournir qu'une faible puissance, il doit cependant être alimenté par un alternateur relativement puissant par rapport aux moteurs, puisque tout le courant déwatté est emprunté au réseau.

P. Meunier,
Ancien Elève de l'Ecole Polytechnique,
Ingénieur Electricien.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

Machine à vapeur, système Sleeper, par **G.-D. Hartley**. *The Canadian Electrical News*, t. XII, p. 207-209, décembre 1902.

Le brevet Sleeper date d'environ deux ans ; il a pour auteur un inventeur très connu de l'autre côté de l'Atlantique pour ses inventions en constructions électriques et téléphoniques. Le nouveau moteur à vapeur qui porte son nom diffère sensiblement dans sa forme extérieure du type courant à piston ; il a l'apparence d'une caisse circulaire ou rectangulaire en fonte, d'où ne sort que l'arbre moteur. Le principal avantage de ce moteur est sa forme restreinte et compacte, sans que cette réduction énorme de métal ait entraîné une diminution de résistance des organes aux efforts mécaniques, à l'usure et aux surcharges.

La figure 1 montre, en élévation, le moteur ordinaire, à simple effet. On voit que l'ensemble du cylindre, du piston et de sa tige, est remplacé par une chambre de vapeur extensible, dont les deux parois mobiles sont articulées, au moyen de paliers à rouleaux, entre elles, au bâti et à une bielle actionnant l'arbre. Bien que ce ne soit pas là un moteur rotatif, les difficultés qu'on y rencontre sous le rapport des frottements et des fuites de vapeur se retrouvent dans ce type et y ont été heureusement surmontées.

Dans le type circulaire (fig. 3), destiné à l'accouplement direct avec les génératrices électriques et aux services de la marine, la bielle est supprimée et remplacée par un excentrique ; les cham-

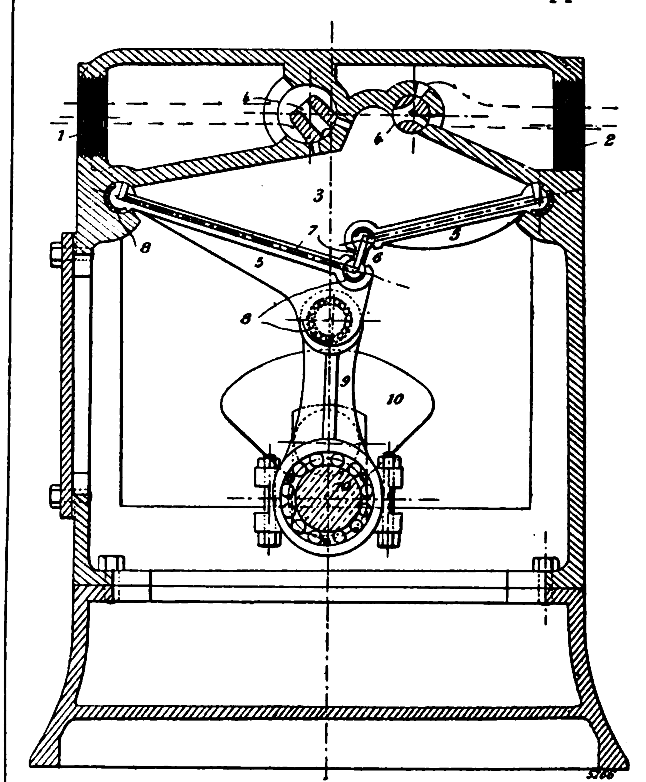


Fig. 1. — Vue en élévation d'une machine ordinaire, à simple effet.

1, admission. 2, échappement. 3, chambre extensible. 4, 4, tiroirs. 5, portions de parois mobiles. 6, articulations. 7, garniture. 8, paliers à rouleaux. 9, bielle. 10, arbre.

bres extensibles sont réparties en nombre variable, autour du bâti circulaire et, la vapeur y étant admise successivement, elles viennent à tour de rôle exercer leur effort sur l'excentrique au moyen de rouleaux.

Sur les machines fixes, on emploie des tiroirs cylindriques du type Corliss modifié. Dans les machines circulaires, on fait usage d'un tiroir entièrement nouveau. C'est un tiroir plat, équilibré et actionné par un excentrique calé sur l'arbre moteur. Dans la figure 4, on aperçoit la ligne de séparation entre le tiroir et son siège ; l'excentrique lui imprime un mouvement circulaire, mais les bagues de guidage le font dévier de façon qu'il se meuve en ligne droite devant les lumières d'admission. La bague de guidage étant elliptique, le tiroir est libre de se mouvoir dans une direction à l'intérieur de la bague, et il est guidé par des articulations fixées d'un côté au tiroir et de l'autre à la bague. Ces deux derniers reçoivent ensemble un déplacement perpendiculaire au premier et sont guidés par d'autres articulations fixées d'une part au siège et de l'autre à la bague.

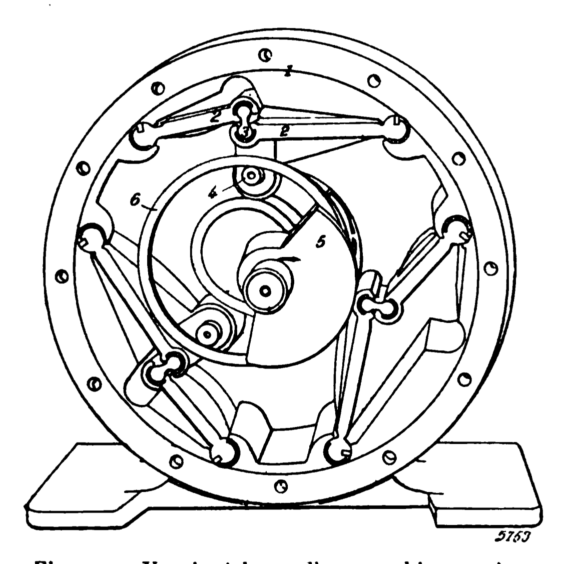


Fig. 2. — Vue intérieure d'une machine marine.

1, bâti. 2, parois mobiles. 3, articulations. 4, tourillons à rouleaux actionnant l'excentrique. 5, excentrique. 6, bague de guidage.

Les quelques figures reproduites ici montrent l'attention qui a été apportée à l'exécution des paliers ; les tourillons, les rouleaux et les coquilles sont toutes en acier trempé et rodé. Les supports des rouleaux reçoivent un soin d'exécution destiné surtout à réaliser un parallélisme parfait entre les rouleaux et les tourillons, afin d'éviter toute torsion et tout coïncement des rouleaux.

Les fuites de vapeur sont évitées au moyen de garnitures empêchant l'usure, mais sur lesquelles l'auteur ne donne pas de détails.

Le mécanisme de renversement se fait par un simple mouvement du levier ; une autre qualité est l'absence de vibrations et de chocs, ainsi qu'une faible inertie des pièces en mouvement. La construction de ce moteur permet l'emploi de la vapeur surchauffée à hautes pressions. Enfin, une série d'essais effectués au Laboratoire de l'Université Mc Gill a montré l'économie de vapeur réalisée, ainsi que les grandes vitesses que l'on pouvait atteindre. Les essais ont porté sur les machines à simple effet (fig. 1) et sur les machines compound dont une vue est donnée ci-contre (fig. 3) ; ils ont donné les résultats suivants :

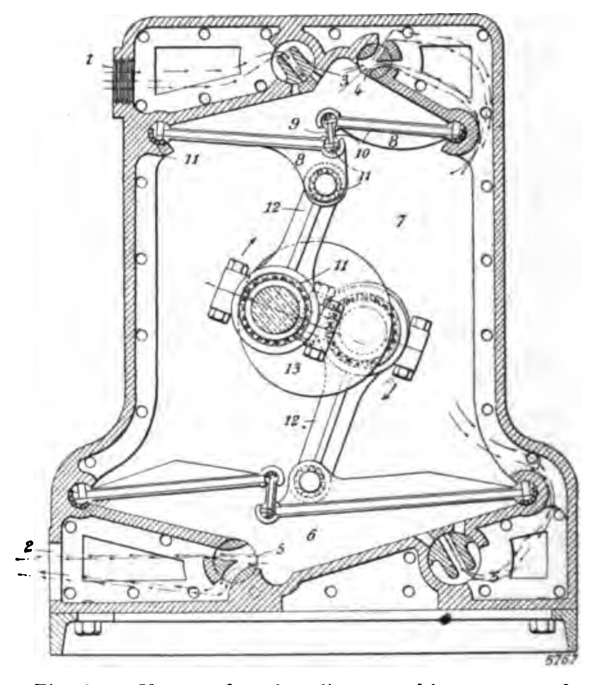


Fig. 3. — Vue en élévation d'une machine compound de 25 chevaux.

1, admission (haute pression). 2, échappement (basse pression). 3, valves d'admission et d'échappement (haute pression). 4, chambre à haute pression. 5, admission et échappement (basse pression). 6, chambre à basse pression. 7, corps de machine servant de réservoir de vapeur. 8, parois mobiles. 9, articulations. 10, garnitures. 11, paliers à rouleaux. 12, bielle. 13, arbre.

Machine à simple effet, de 12 chevaux [1].

N° DE L'ESSAI	CHEVAUX au frein	TOURS par minute.	VAPEUR par cheval heure	PRESSION kg. par cm²	CHARGE
1	5,63	650	37,6 kg	3,08	1/3
2	10,2	707	18,3 »	3,7	2/3
3	13,1	726	16,5 »	5,88	pleine

Les auteurs du rapport signalent que les variations de vitesse de 650 à 725 tours par minute ont peu changé la consommation de vapeur et que les résultats atteints ne l'ont jamais été avec une machine simple de cette puissance ; ils devaient être encore plus favorables avec une machine compound, comme le montrent les nombres suivants :

Machine de 25 chevaux compound, à double action.

PRESSION de vapeur	CHARGE	CONSOMMATION de vapeur par cheval-heure	VIDE cm. de mercure
7,42 kg	23 chx	11,45 kg	62,5
4,32 »	14 »	12,95 kg	57,2

Ces résultats confirment d'autres essais de l'inventeur sur la même machine.

Le directeur du Laboratoire a pu prendre des diagrammes qui montrent l'absence presque totale de pertes dans cette machine. Il est à prévoir, en effet, que les pertes dues à la condensation, qui atteignent de 25 à 70 p. 100 dans les machines ordinaires, seront presque entièrement éliminées avec des vitesses de près de 1 000 tours par minute. L'inventeur attribue le rendement élevé précisément à la possibilité d'atteindre ces grandes vitesses en diminuant les pertes par condensation et par fuites sous le piston et le tiroir. La légèreté des pièces soigneusement équilibrées, permet, en effet, des vitesses de 2 500 tours par minute sans que la stabilité du bâti en souffre.

[1] Il s'agit de chevaux-vapeur anglais, dont l'unité vaut 0,986 fois le cheval-vapeur usuel (75 kilogrammètres par seconde). La différence est néanmoins trop faible pour nécessiter une correction. (N. d. T.).

Pour le type circulaire, on n'emploie pas de volant : ce qui en fait un moteur léger très approprié à l'équipement des automobiles, pour lesquelles on construit un type spécial ne pesant

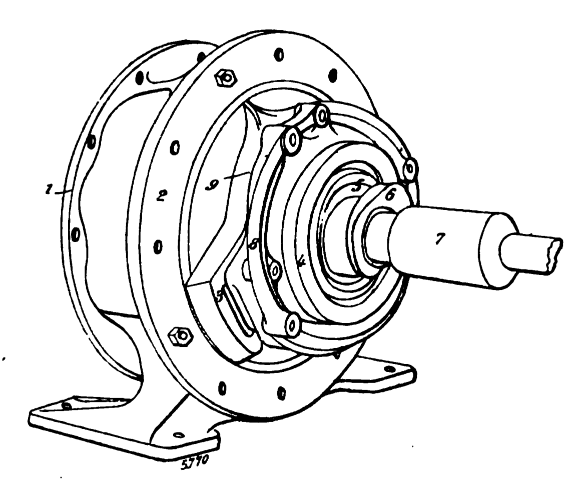


Fig. 4. — Machine marine avec vue du mécanisme du tiroir, et lumière inférieure de gauche ouverte.

1, bâti. 2, siège du tiroir. 3, tiroir. 4, bague d'échappement. 5, excentrique. 6, manchon de renversement intérieur. 7, id. extérieur.

que 22,4 kg pour une puissance de 6 chevaux.

Les avantages de cette machine pour la génération de l'électricité sont du même ordre que ceux des turbines à vapeur. Au lieu de la multiplicité des organes de transmission, le moteur à vapeur est simplement placé ici sur un léger

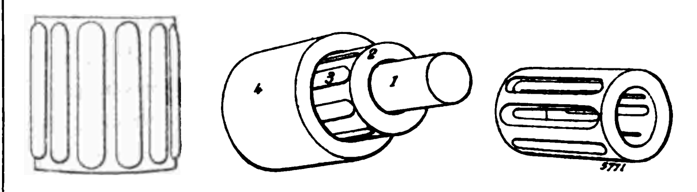


Fig. 5 à 7. — Paliers à rouleaux.

1, tourillon. 2, châssis des rouleaux. 3, rouleaux, 4, manchon extérieur.

prolongement du socle des dynamos et son encombrement est même moindre que celui de la génératrice. Ce moteur semble d'autre part avoir sur la turbine une supériorité due à l'absence d'organes de réduction de vitesse et de quelques dispositifs délicats, nécessités par les vitesses énormes des turbines.

Les figures 5 à 7 représentent quelques détails du moteur Sleeper, qu'expliquent les légendes.

P.-L. C.

***



Dynamos à courant continu compensées, système Déri. Communication faite en 1902, par **F. Eichberg**, à la dixième réunion annuelle de la *Verband Deutscher Elektrotechniker*, à Düsseldorf. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 817, 11 septembre 1902.

Le principe du système de compensation Déri est le suivant :

L'enroulement inducteur complet se compose de deux parties, disposées d'une façon analogue aux deux phases de l'enroulement diphasé d'un moteur d'induction, sur une carcasse en fer analogue au stator de ces moteurs : 1° un enroulement d'excitation proprement dit, en dérivation, occupant seulement un certain nombre d'encoches par pôle ; 2° un enroulement compensateur en série avec l'induit réparti généralement dans toutes les encoches de l'inducteur, pour assurer une meilleure compensation du champ induit.

La figure 1 représente un inducteur à 4 pôles et 48 encoches. L'enroulement d'excitation E

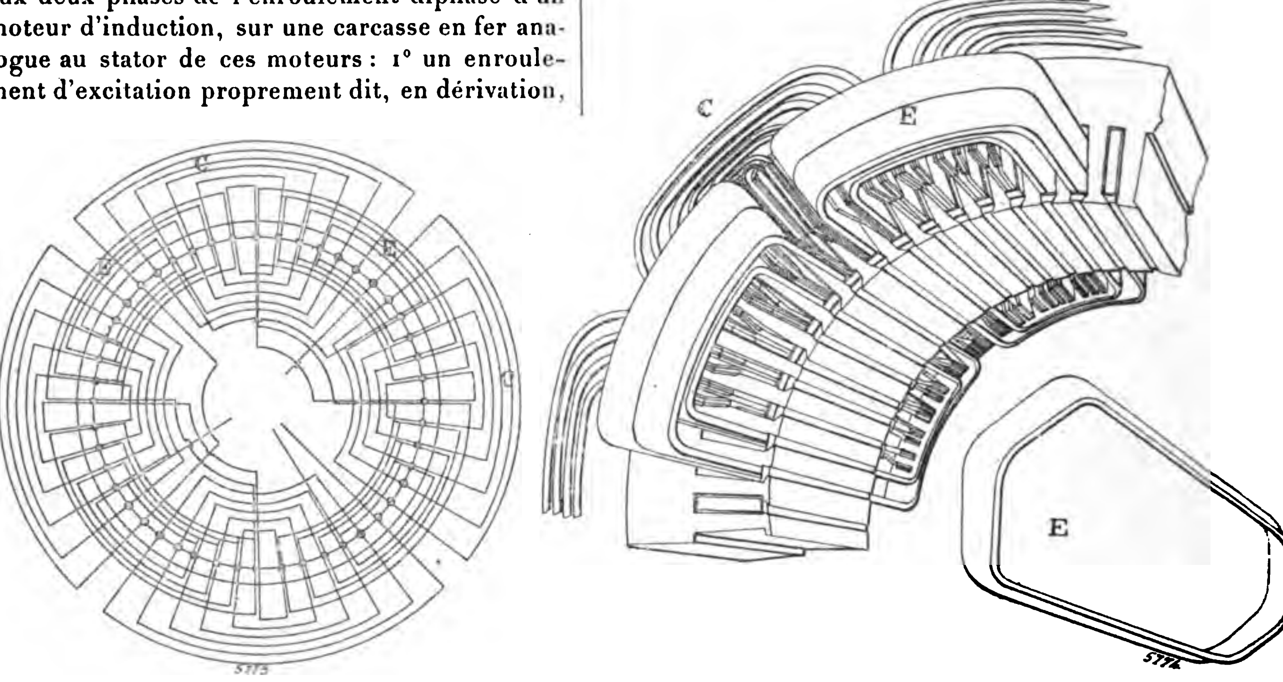


Fig. 1. — Inducteur à enroulement compensateur à 4 pôles et 48 encoches, système Déri.

Fig. 2. — Enroulement compensateur à barres et bobines d'excitation faites sur gabarit.

occupe seulement 8 encoches par pôle, laissant libres 4 encoches au milieu du pôle ; l'enroulement compensateur C occupe toutes les encoches.

Déri prend pour ampères-tours de l'enroulement compensateur, non pas une valeur égale au nombre des ampère-tours de l'induit, mais un nombre plus grand, la différence entre les ampères-tours du champ de compensation et du champ de l'induit, servant à créer un champ de commutation, toujours proportionnel au courant débité, ce qui est une excellente condition de fonctionnement de cette commutation, et permet la marche sans étincelles dans de larges limites de surcharge.

L'enroulement d'excitation en dérivation nécessite un nombre d'ampères-tours variable avec la ongueur de l'entrefer, en général 1/3 à 1/2 au maximum des ampères-tours de compensation.

Une difficulté de construction se présente, lorsque l'on veut pouvoir séparer l'inducteur en deux parties, suivant un plan passant par l'axe. On peut alors, ou pratiquer la coupure entre deux pôles et munir alors l'enroulement compensateur de serre-fils dans le plan de séparation ou enrouler l'inducteur suivant le type à pôles conséquents, ce qui permet alors, pour un nombre pair de paires de pôles, de pratiquer la coupure dans le plan médian de deux pôles conséquents, sans employer de serre-fils pour l'enroulement compensateur.

Un bon mode d'exécution de ces enroulements consiste à employer des barres pour l'enroulement compensateur C, et des bobines faites au préalable sur gabarit pour l'enroulement d'exci-



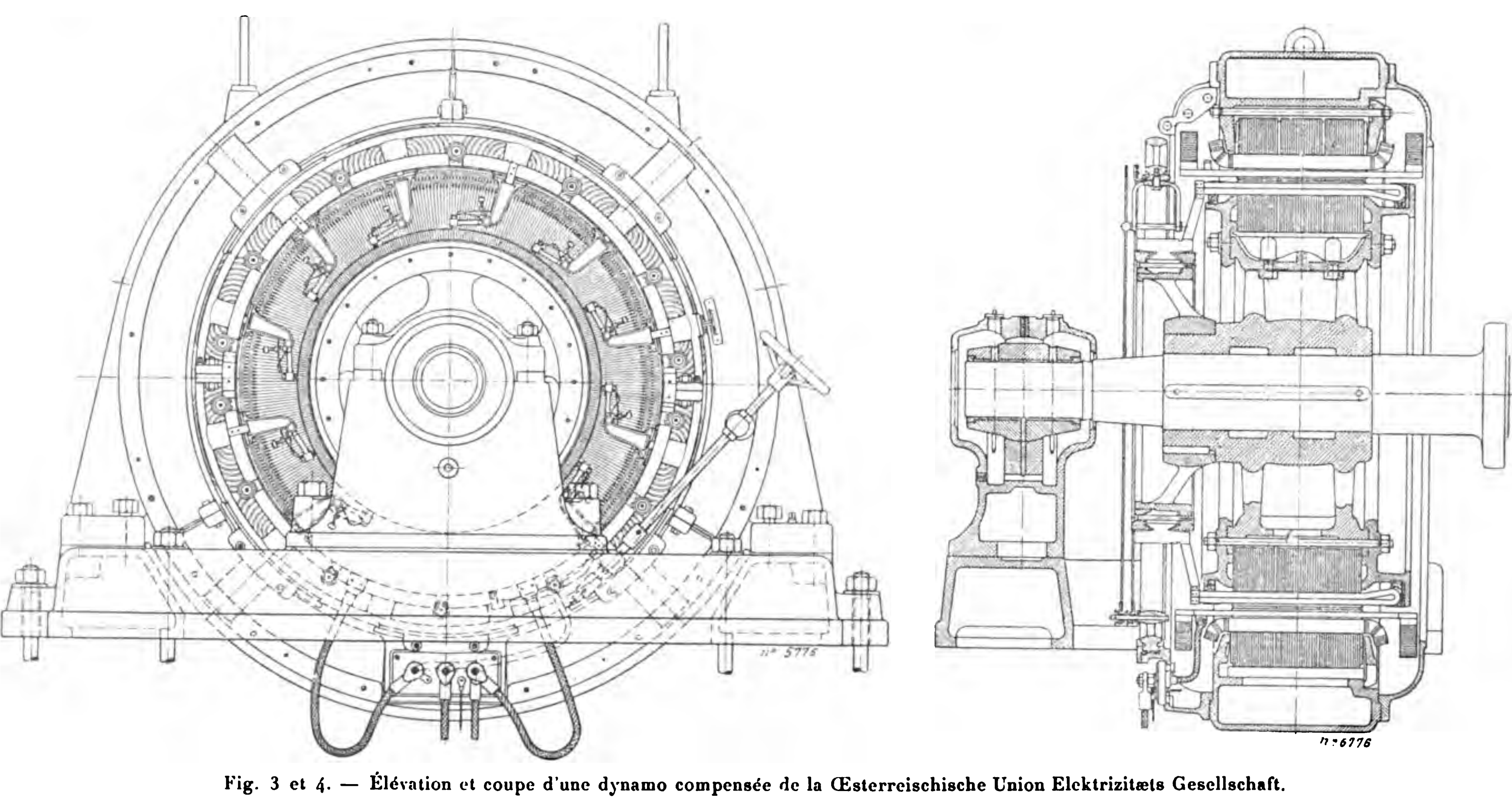


Fig. 3 et 4. — Élévation et coupe d'une dynamo compensée de la Œsterreichische Union Elektrizitæts Gesellschaft.

tation en dérivation E, et occupant seulement 2 ou 4 encoches au plus, comme le montre la figure 2.

Les figures 3 et 4 représentent l'élévation et la coupe d'une dynamo compensée de l'Œsterreischische Union Elektrizitäts Gesellschaft, d'une puissance de 225 kilowatts à 150 t : m.

Propriétés générales des dynamos compensées. — Supposons, pour simplifier, que les enroulements d'excitation et de compensation seront régulièrement répartis sur tout le pourtour de la circonférence, et faisons la théorie relativement à une dynamo bipolaire.

Représentons par les cercles e, a et c (fig. 5, 6 et 7), les ampères-tours des enroulements d'excitation, de compensation et d'induit. Si, comme dans la figure 5, les axes xx des enroulements c et a coïncident, et sont perpendiculaires à l'axe yy de e, en désignant par N_c et N_a, les nombres de conducteurs rapportés au courant total J des

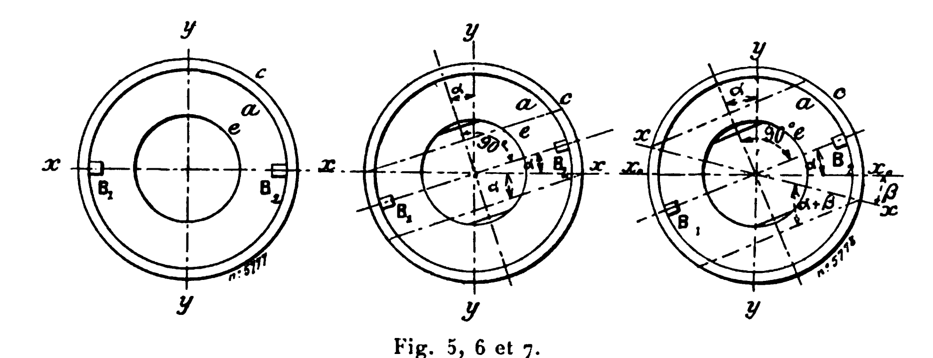


Fig. 5, 6 et 7.

enroulements c et a, N_e le nombre de conducteurs de l'enroulement E et i, le courant d'excitation, on a pour valeur du nombre des ampères-tours de surcompensation

$$J\,\frac{N_c - N_a}{\pi}$$

et pour valeur des ampères-tours d'excitation

$$i\,\frac{N_e}{\pi}.$$

Si l'angle des axes xx et yy est différent de 90° et égal à ρ, les ampères-tours qui produisent la tension à vide sont

$$i\,\frac{N_e}{\pi}\sin\rho.$$

D'autre part, si maintenant égal à 90° l'angle des enroulements inducteur et compensateur, on décale les balais d'un angle α (fig. 6), on a les nouvelles valeurs :

Ampères-tours de surcompensation :

$$J\left(\frac{N_c \cos\alpha - N_a}{\pi}\right) - i\,\frac{N_e}{\pi}\sin\alpha;$$

Ampères-tours d'excitation :

$$i\,\frac{N_e}{\pi}\cos\alpha + J\,\frac{N_c}{\pi}\sin\alpha,$$

ces ampères-tours étant naturellement comptés dans les directions respectives des balais et de la perpendiculaire aux balais.

Dans le cas (fig. 7), où xx et yy font entre eux un angle de $90° + \beta$, ces deux valeurs deviennent respectivement :

Surcompensation,

$$J\,\frac{N_c \cos(\alpha + \beta) - N_a}{\pi} - i\,\frac{N_e}{\pi}\sin\alpha;$$

Excitation,

$$i\,\frac{N_e}{\pi}\cos\alpha + J\,\frac{N_c}{\pi}\sin(\alpha + \beta).$$ [1]

De toutes ces expressions, il résulte qu'à partir du moment où les balais sont décalés, $\alpha \lessgtr o$, la surcompensation comme l'excitation deviennent toutes les deux fonction des ampères-tours inducteurs et des ampères-tours compensateurs. Par suite, suivant les signes de α et β, il peut arriver que le champ de surcompensation, qui

[1] Pour $\alpha = 0$, la surcompensation devient proportionnelle au courant induit, soit

$$J\,\frac{N_c \cos\beta - N_a}{\pi};$$

la machine présente absolument l'allure d'une dynamo compound.



sert en même temps de champ de commutation, s'affaiblisse pour certains décalages de balais et que des machines qui commutent parfaitement des courants considérables avec les balais dans la ligne neutre, donnent naissance à des étincelles quand on décale les balais.

Les directions relatives des enroulements de compensation et d'induit sont les mêmes, pour les génératrices et les moteurs, mais l'action du décalage des balais est inverse pour les deux genres de fonctionnement. Les formules données plus haut se rapportent à un décalage des balais en arrière par rapport au sens du mouvement pour une génératrice, c'est-à-dire à une génératrice surcompoundée. Dans le même cas, un moteur fonctionnerait très mal, puisque son champ s'affaiblissant à mesure que le courant augmente, entraînerait une augmentation de vitesse, puis une nouvelle augmentation du courant, etc., soit finalement une marche impossible ou tout au moins dangereuse pour le moteur.

L'auteur signale ici différents modes d'excitation de dynamos compensées, puis il fait remarquer que dans cette sorte de machines, on peut adopter des inductions très faibles (et par suite des nombres d'ampères-tours inducteurs faibles) (¹), et qui permet de réaliser, le cas échéant, des augmentations du champ de 50 à 60 p. 100, d'où une grande facilité de surcharge pour les dynamos.

Essais d'une dynamo compensée. — Ces essais ont porté sur une machine de 40 kilowatts à 620 t : m.

La figure 8 donne les caractéristiques en charge (tension aux bornes en fonction du courant débité) pour différents angles de décalage des balais (0°, balais dans la ligne neutre; $\mp \alpha$ balais décalés d'un angle α relatif à une dynamo bipolaire, respectivement dans le sens de la rotation et dans le sens inverse). La réduction de la tension dans la marche à vide, avec décalage en arrrière de 4°,2 et 8°4, est énormément plus grande que dans les dynamos usuelles, et ne peut se justifier par l'explication ordinaire : l'auteur attribue cette réduction à l'action du courant qui circule dans les bobines court-circuitées, et qui est en sens inverse du champ, pour les balais placés dans le sens de la dynamo surcompoundée

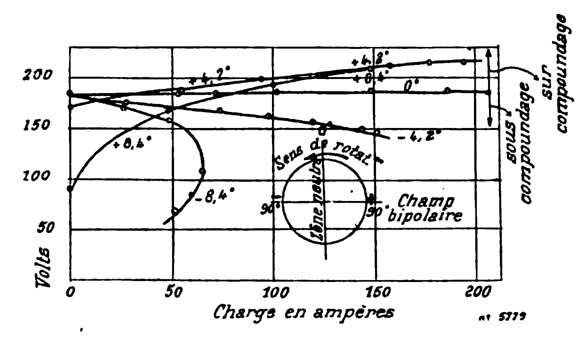


Fig. 8. — Caractéristiques en charge d'une dynamo compensée de 48 kilowatts à 620 t : m.

(décalage en arrière pour les génératrices) et inversement.

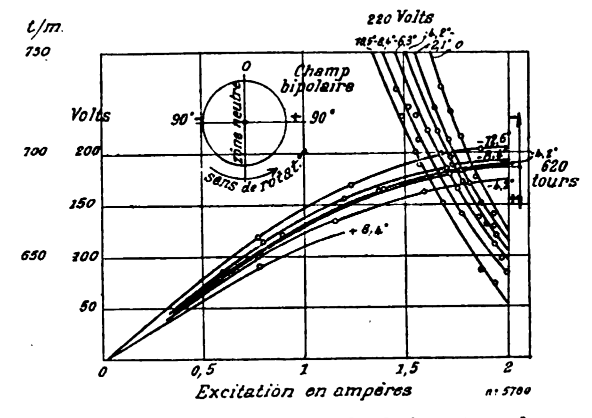


Fig. 9. — Caractéristiques à vide de la même dynamo pour différentes positions des balais.

Les caractéristiques à vide pour différentes positions des balais sont données dans la figure 9

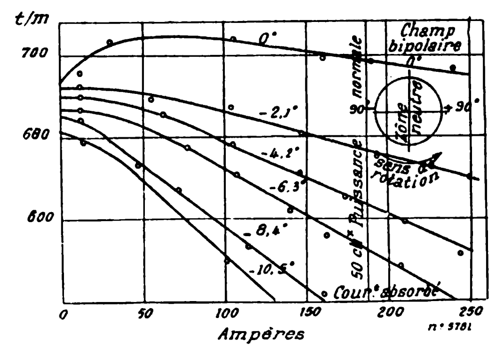


Fig. 10. — Caractéristiques de la même génératrice employée comme moteur.

(tension en fonction du courant d'excitation à 620 t : m pour la génératrice, vitesse en fonction

(¹) L'auteur conseille, d'après son expérience personnelle, le rapport :

$$\frac{\text{ampères-tours d'excitation}}{\text{ampères-tours de l'induit}} = \frac{1}{3}$$

de l'excitation sous tension constante de 220 volts pour le moteur).

En particulier, dans l'emploi comme moteur, on peut remarquer sur la figure 10 (vitesses en fonction de la charge sous tension constante), que pour les balais calés dans la ligne neutre, la marche est très stable, et la vitesse sensiblement constante.

Au point de vue de l'échauffement, la machine a donné pour la charge normale (220 volts, 190 ampères), 38° pour le fer du stator, 45° pour le cuivre du rotor, au-dessus de l'ambiante.

Avec un échauffement de 50°, la machine peut fournir 250 ampères sous 220 volts, soit une puissance de 55 kilowatts.

On a fait débiter à la machine légèrement sous-compoundée (balais en avant), en court-circuit, un courant quadruple du courant normal sans formation d'étincelles [1].

Contribution à la fabrication des plaques à matière pour accumulateurs, par **E. Leimer**. *Centralblatt f. Accumulatoren, Elementen und Accumobilenkunde*, t. IV, p. 1 et 15. 1er et 15 janvier 1903.

On sait qu'on appelle plaque à matière (Masseplatte) la plaque qui ne comporte qu'un cadre entourant une pastille de matière active. Cette plaque est caractérisée par sa grande capacité spécifique rapportée à l'unité de poids comme à celle d'encombrement. Malheureusement, on n'a pu lui donner jusqu'ici la solidité et l'aptitude aux régimes élevés que nécessitent les emplois à la traction.

Au point de vue de la fabrication, l'auteur examine d'abord l'influence du liant employé. Le phénol en solution hydratée est particulièrement approprié; il forme alors avec les oxydes un phénylate basique. En solution alcoolique, ce phénylate ne se forme pas et la prise se fait mécaniquement.

Pour préparer sa solution, l'auteur mélange une partie de phénol cristallisé, à 98,8 p. 100, avec 15 parties d'eau distillée. On humecte le minium et la litharge avec une quantité telle de solution que le mélange se laisse pétrir à la main sans laisser se séparer d'eau. On comprime alors dans le cadre. Pour la positive, on emploie le minium seul.

Tous les miniums ne conviennent pas, même s'ils ont une teneur élevée en oxygène et ne possèdent pas d'impuretés. L'auteur rapporte à ce propos que la maison Dinin, qui fabrique à Paris les plaques Bœse, n'obtenait pas une bonne fabrication, même en prenant les miniums les plus chers de France, Belgique ou Espagne, et devait s'adresser en Silésie, malgré les droits élevés de transport et de douane.

Le bourrage de la matière doit être fait avec le plus grand soin ; les angles et les rainures en forme de V, de W ou d'U, du cadre doivent être bien remplis. On doit exercer une pression uniforme sur les plaques, qui sont posées sur des dalles en verre ; toutes les plaques doivent renfermer la même quantité de matière. S'il y a des manques de matière et qu'on remplisse les creux de matière fraîche, après le polissage de la surface, la matière ajoutée se détache à la formation. On ne doit jamais imbiber plus de minium qu'il n'en peut être employé dans la journée. Quoique le minium ne se durcisse pas rapidement et que la solution ne s'évapore pas plus rapidement que l'eau, la pâte perd néanmoins en un jour beaucoup de sa force liante.

Les plaques empâtées sont perforées, puis introduites avec grand soin dans le bain acide. Pour éviter l'adhérence de la matière sur la plaque de verre, on sépare, avant empâtage, le cadre de la plaque de verre par une feuille de papier non collé. Les plaques empâtées sont, après perforation, placées par leur dernière face travaillée sur une feuille de papier fraîche et disposées sur une plaque de verre. On empile ainsi les plaques les unes sur les autres. La plaque du dessus est recouverte également d'une feuille de papier. On laisse le tout environ 12 heures au repos, puis on passe à l'étuve, qui est fermée hermétiquement et traversée seulement par un courant d'air chaud et sec dont la température est réglable. A l'intérieur, des dispositifs permettent de ne pas recevoir les plaques sur plus de deux séries qui portent sur leur long côté. Si les plaques étaient mises droites sur leur petit côté, il pourrait y avoir affaissement de la matière, qui est encore plastique au début. Entre les plaques qui doivent être verti-

[1] M. Mengès (*Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 878, 25 septembre 1902), réclame la priorité de l'idée de l'enroulement compensateur (brevet allemand n° 34 465, en 1884), priorité reconnue dans l'ouvrage de M. Fischer Hinnen « Les dynamos à courant continu ») ; il reconnaît comme nouvelle l'idée de M. Déri de placer l'enroulement shunt d'excitation dans plusieurs encoches par pôle.



cales, il faut laisser au moins 1 centimètre de distance pour obtenir un séchage uniforme sur les deux côtés. Le séchage des plaques disposées horizontalement est à écarter d'une façon absolue. Si on place plusieurs rangées les unes sur les autres, on risque de sécher trop lentement les rangées supérieures qui, en outre, deviennent trop imprégnées des vapeurs de phénol ; la matière produite est alors inégalement durcie.

Au début du séchage, la température du courant d'air ne doit pas dépasser 40 à 50° C, pour éviter les fissures dans la masse. Après 12 heures environ, on élève la température de 120 à 150° C et on la maintient ainsi 36 heures environ. On laisse ensuite refroidir lentement en fermant les conduites d'arrivée et de départ de l'air. Après 12 heures, les plaques encore tièdes sont plongées dans le bain acide, qui doit être à la même température. L'auteur évite un contact prolongé des plaques empâtées avec l'air toujours plus ou moins chargé de vapeurs chimiques. L'expérience montre en effet que des plaques séchées, puis laissées huit jours à l'air libre avant l'introduction dans le bain acide, se dégradent après cette introduction. La matière refroidie ou en refroidissement absorbe avec avidité non seulement l'acide carbonique de l'air, mais encore d'autres vapeurs comme celles de la pyridine. Ces substances paraissent décomposer le phénylate basique et détruisent la force liante de la matière. L'acide carbonique décompose le phénylate de plomb et forme avec le phénol de l'acide salycilique dont on reconnaît la présence en aiguilles cristallines dans la masse.

L'emploi de solutions concentrées de phénol procure une matière aussi dure que la pierre ; mais la matière ne change pas de couleur pendant le trempage à l'acide et ne se laisse former avec aucune densité de courant. L'auteur a reconnu que les solutions de 2 à 5 p. 100 sont les plus favorables. Le temps de trempage à l'acide dépend de la porosité et de l'épaisseur de la matière ; les meilleurs résultats sont obtenus avec un temps de 36 heures par 2 mm d'épaisseur. Des plaques de $140 \times 100 \times 6$ mm doivent donc tremper pendant 108 heures. On doit s'assurer que la densité de l'acide ne baisse pas au-dessous de 10° B et, préparé fraîchement, ne monte pas au-dessus de 12° B. La matière insuffisamment trempée tombe pendant la formation. Ceci s'explique facilement : dans ce cas, en effet, la matière renferme des proportions de sulfate qui vont diminuant de l'extérieur vers l'intérieur ; les couches dures extérieures étant les moins poreuses, les gaz dégagés par la formation à l'intérieur de la matière exercent une pression qui détache cette matière et la fait tomber. La partie interne de la matière insuffisamment trempée reste rouge, onctueuse et ne renferme pas d'acide.

Différents auteurs ont essayé de supprimer le trempage ; mais dans ce cas, si on a évité les chutes, la formation n'est que superficielle et la matière est restée rouge à l'intérieur. Ou bien alors il faut employer une très faible densité de courant, ne dépassant pas 0,2 ampère par dm^2. Dans ce cas, la sulfatation se produit dans le bain de formation et cette formation n'a lieu qu'après la sulfatation progressive.

On peut reconnaître si la sulfatation est convenable par le son produit en frappant avec le doigt ; ce son doit être uniforme. Pour la formation des plaques constituées comme il vient d'être indiqué, l'auteur emploie 1,5 ampère par plaque de $140 \times 100 \times 6$ mm. Avec une densité de courant moindre, on obtient une texture du peroxyde plus cristalline à l'extérieur, mais moins uniforme et plus grossière à l'intérieur.

Si la plaque est moins épaisse, on peut descendre l'intensité de 0,8 à 1,0 ampère et obtenir une structure presque uniformément cristalline. Si la plaque est plus épaisse, on a avantage à former à tension presque constante. On règle de 3,0 à 3,2 volts au début et on descend peu à peu à 2,8 volts. L'intensité du courant débute alors à 3,0 ampères et tombe peu à peu à 0,25 ampère. On obtient ainsi une matière cristalline même vers le milieu.

L'acide de formation, que l'auteur préfère aux solutions neutres, doit être à la concentration 10° B. Il recommande de ne pas interrompre la formation pendant les heures de nuit, par exemple. Outre la dépense plus grande de courant dans ce cas, on observe la production d'un halo à chaque interruption. Pour la formation normale, il faut compter pour la quantité d'électricité 35 à 45 p. 100 de plus que la capacité de la plaque positive.

Si on constitue les négatives avec du minium pur, il se produit des fissures et la matière se recouvre superficiellement de petites cloches ;



mais elle ne rétrécit pas. La matière négative préparée avec du minium pur est sans défaut, mais elle se contracte fortement (1 cm dans le sens de la longueur pour des plaques 140 × 100 × 6 mm). Pour diminuer la contraction sans créer de fissures ni de cloches, on mélange trois parties de minium et une de litharge. Le mélange des deux oxydes à l'état sec est rendu très intime, mécaniquement.

Au contraire de la positive, la matière négative doit être introduite aussi ferme que possible dans les cadres et on doit éviter le polissage de la surface après séparation de l'excès de matière. On recommande aussi de comprimer, aussitôt après l'empâtage, la plaque entre deux feuilles absorbantes (papier buvard par exemple) et de perforer très serré. Pour le trempage et la formation, on doit observer les mêmes règles que pour les positives. Comme la formation des négatives exige un temps environ double de celle des positives, si on a à continuer la formation des négatives seules, il faut éviter de mettre en regard des vieilles plaques sulfatées ou déformées ou des lames de plomb unies ; mais on doit prendre des grilles vides à mailles étroites. Sans cette précaution, on forme inégalement les négatives et on produit inévitablement des cloches, qui retardent la formation et dissipent du courant pour la production abondante de gaz. La distance entre les plaques doit être uniforme et égale à l'épaisseur de celles-ci. Des inégalités de distance créent des déformations aux plaques positives.

Après leur formation, les positives sont placées sur une plaque de verre inclinée ; dans cette position, on les lave à l'eau, puis on enlève les excroissances gris brunâtre à l'aide d'une brosse dure. Par ce traitement, aucune partie de matière ne doit se détacher si la fabrication a été bien faite. Les positives sont ensuite exposées à l'air sur des rayons, où on les sèche et où on peut les conserver de longues années sans qu'elles perdent de leurs qualités.

Les plaques négatives sont également brossées, avec une brosse douce, sous un courant d'eau, puis polies avec une spatule de verre, ou encore comprimées. Ces deux dernières manipulations, qui rendent les plaques très belles d'aspect, ont l'inconvénient de diminuer la porosité.

Aussitôt après le lavage, les négatives sont conservées dans l'eau pure. A l'air, elles s'oxyderaient en partie et leur capacité diminuerait. On ne doit pas les conserver trop longtemps, car dans l'eau même elles s'oxydent lentement.

Certains fabricants conservent les négatives et même les positives dans l'acide sulfurique étendu. Cependant, les plaques se déchargent dans ces conditions par actions locales entre la matière active et le cadre. C'est ainsi qu'une plaque positive conservée dans l'acide étendu a perdu, après six mois, les 5/6 de sa capacité et est devenue jaune brun.

Dans certaines circonstances, il peut se produire des explosions. Le cas se produit par exemple lorsqu'on place l'une sur l'autre une négative et une positive fraîchement formées ; l'hydrogène occlus dans la négative est brûlé par l'oxygène actif de la positive et il se produit une violente explosion. Celle-ci se produit aussi après quelques minutes, lorsqu'on verse quelques gouttes de glycérine pure sur une positive fraîchement formée. La matière imbibée de glycérine brûle en produisant une flamme vive et en laissant un mélange de cendres jaunes et de globules de plomb.

Ces faits sont à considérer et l'auteur pense qu'ils peuvent expliquer les différents incendies qui ont éclaté dans des fabriques d'accumulateurs. On emploie en effet très fréquemment la glycérine soit comme liant, soit pour la formation. D'autre part, il est possible que différents autres corps donnent des actions semblables à celles de la glycérine.

L. J.

Perfectionnements apportés à la fabrication des électrodes pour piles primaires et secondaires, par **Redding, Lothrop et Deering**. Brevet français, 320 927 du 28 août 1902. Brevet anglais, 10 457 du 6 mai 1902.

La figure 1 donne une vue en coupe longitudinale, avec les parties antérieures en élévation; la figure 2 est une vue en coupe transversale semblable ; la figure 3 représente une vue de côté d'une unité modifiée d'élément de batterie.

On prend une feuille de plomb qu'on perfore en lui donnant une forme caillouteuse par un piquage ; la feuille est ensuite enduite de pâte des deux côtés. *a* est cette feuille formée en blocs compacts par superposition d'un très grand nombre de bandes et compression dans un moule convenable, les dits blocs étant perforés à inter-

valles déterminés. La pâte appliquée avant la superposition empêche l'aplatissement des feuilles de plomb.

Dans les figures 1 et 2, chaque châssis pour un élément de batterie est formé d'une seule plaque de plomb avec ouvertures parallèles *b* rectangulaires, et leurs bandes de retenue *c* sont tordues de façon à former des côtés de compartiments pour les blocs de bandes en feuilles de plomb. De longs rivets en plomb *e* s'étendent à travers toutes les plaques *c* et les perforations des blocs.

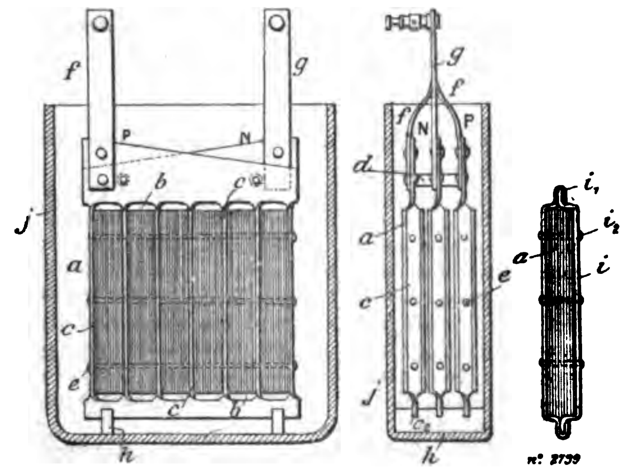


Fig. 1, 2 et 3.

P est le pôle positif et N le pôle négatif; ils sont séparés par des armatures *d* en matière isolante; *f* et *g* sont les prises de courant; *j*, le vase; *h*, des blocs en matière isolante, pourvus d'encoches s'engageant dans les barres inférieures c_2 des châssis. L. J.

DIVERS

Electrisation négative des gouttes d'eau tombant à travers l'air, par **A. Schmauss.** *Drude's Annalen*, t. IX, p. 224-238, sept. 1902.

D'après les expériences de Lenard, l'eau pure tombant à travers l'air sur un obstacle, envoie dans l'air ambiant de l'électricité négative et se charge elle-même d'électricité positive en quantité équivalente.

M. Schmauss a fait tomber l'eau à travers de l'air ionisé par les rayons Rœntgen. Au début, le collecteur auquel l'eau cède son électricité prend une charge négative; puis, au bout de très peu de temps, le signe change et l'électrisation devient positive, comme l'avait observé Lenard (fig. 1).

L'eau emprunte l'électricité dont elle se charge à l'air ionisé naturellement ou artificiellement. Elster et Geitel ont montré que l'air ordinaire se comporte comme un gaz faiblement ionisé. Le phénomène observé ici est le réciproque du phénomène observé par Zeleny. Un conducteur isolé contre lequel on dirige un courant d'air ionisé par les rayons Rœntgen reçoit une charge négative. Dans le cas présent, c'est le conducteur qui se déplace par rapport à l'air. L'ensemble des expériences est d'accord avec cette explication.

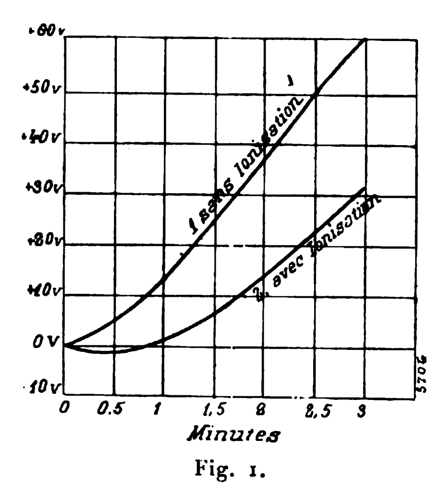


Fig. 1.

La quantité d'électricité emportée par la veine liquide diminue quand on répète plusieurs fois de suite l'expérience, ce qui tient à l'appauvrissement de l'air en ions. Puis on atteint un état stationnaire, la veine emporte alors autant d'ions que l'air ambiant peut en fournir. En renouvelant l'air, on obtient de nouveau des charges aussi fortes qu'au début.

Lorsque l'air est complètement enfermé dans une enceinte métallique, la charge négative est beaucoup plus forte que si l'enceinte est ouverte. Cela tient sans doute à ce que l'air enfermé est plus fortement ionisé (Cf. Elster et Geitel)

La charge augmente quand on fait croître la longueur de la veine liquide. Un accroissement de la pression sous laquelle l'eau s'écoule entraîne aussi une augmentation de cette charge, mais jusqu'à une certaine limite, au delà de laquelle il y a diminution. Cette diminution tient à l'effet Lénard, qui croît aussi avec la pression et devient prédominant.

****

Il semble qu'un certain degré d'humidité de l'air favorise l'électrisation négative : dans le gaz carbonique, le phénomène est moins intense que dans l'air.

On peut vérifier, comme il était à prévoir, qu'après le passage de la veine, il reste dans le vase un excès d'ions positifs.

L'ammoniaque et le sulfure de carbone donnent les mêmes résultats que l'eau.

M. L.

Influence de l'électrisation de l'air sur l'étincelle électrique, par **E. Lecher**. *Drude's Annalen*, t. IX, p. 442-451, octobre 1902.

En électrisant positivement l'air entre les pôles d'un exploseur, on favorise la formation des aigrettes et de l'étincelle [1].

[1] Les pôles de l'exploseur F (fig. 1) sont reliés aux extrémités du secondaire de la bobine R et en outre par les cordes mouillées *a*, *a'*, à l'un des pôles de la machine

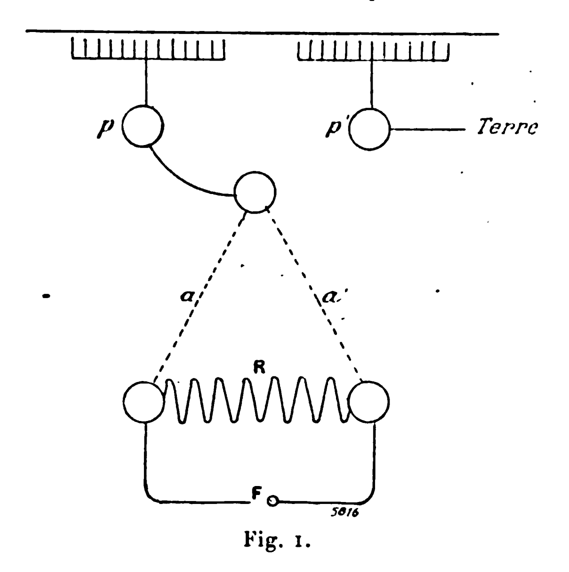


Fig. 1.

de Voss, *pp'*. Par ce dispositif, on peut porter les boules de l'exploseur simultanément et en dehors du jeu de la bobine à un potentiel plus élevé ou plus bas que celui de l'air ambiant.

Les aigrettes qui se produisent quand on fait fonctionner séparément les deux sources deviennent beaucoup plus fortes quand ces deux sources fonctionnent en même temps, si les boules de l'exploseur sont chargées positivement. Si au contraire les boules sont chargées négativement, les aigrettes disparaissent.

Sous l'influence de l'électrisation positive, les aigrettes font place à un flux de brillantes étincelles.

Ces expériences peuvent être variées de bien des manières, mais elles ne réussissent que si les décharges de la bobine ne sont pas trop fortes et si on ne favorise pas la partie positive de la décharge en prenant une cathode semi-conductrice.

Des phénomènes analogues s'observent encore quand on remplace la bobine d'induction par un petit transformateur avec un interrupteur de Wehnelt. Les aigrettes deviennent aussi beaucoup plus intenses quand on électrise positivement les électrodes. Les aigrettes remplissent tout l'espace compris entre ces dernières. Si à ce moment on approche, à 25 cm environ, une pointe de crayon ou une autre pointe reliée au sol, l'espace devient entièrement obscur : à la pointe on observe un petit point lumineux.

Un apport d'électricité positive provoque les étincelles et l'approche d'une pointe reliée au sol les éteint ensuite ; un apport d'électricité négative fait disparaître les étincelles et l'approche de la pointe les fait se reproduire de nouveau.

M. L.

Machine à condensateur : procédé nouveau pour obtenir l'électrisation par influence, par **H. Wommelsdorf**. *Drude's Annalen*, t. IX, p. 651-660, nov. 1902.

Cette machine est une modification de la machine à plateaux multiples de Toepler.

Chaque plateau mobile est enveloppé de deux plateaux fixes, écartés de $2d$: on obtient ainsi une capacité double de celle qui correspond à un seul plateau fixe, d'où le nom de machine à condensateur [1].

[1] Les plateaux mobiles *a* (fig. 1 et 2) d'épaisseur δ sont montés sur une poulie d'ébonite *b* et maintenus à l'écartement $2d$ par les anneaux d'ébonite *r* dont l'épaisseur est $2d-\delta$. Les plateaux fixes *c* servant d'inducteurs sont montés d'une manière analogue à l'intérieur du cylindre *f*,

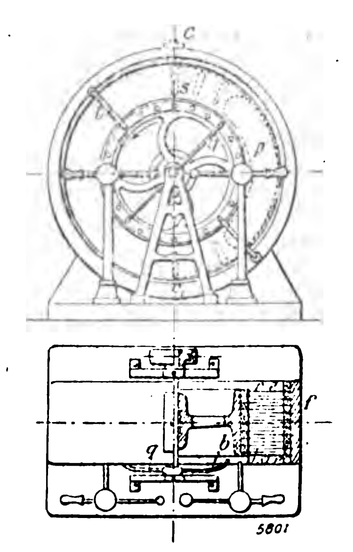


Fig. 1 et 2. — Vue de face et en plan de la machine à condensateur de Hommelsdorf.



Energie émise et absorbée par un ion qui effectue des vibrations elliptiques, par **M. Planck.** *Drude's Annalen*, t. IX, p. 619-629, nov. 1902.

Dans le vide un ion positif, joint à un ion négatif pour former une molécule, effectue des vibrations très rapides. A chaque instant l'ensemble des deux ions forme un couple électrique dont le moment varie rapidement. Par hypothèse les dimensions de ce couple sont très petites vis-à-vis de la longueur des ondes qu'il peut émettre dans le vide. S'il s'agit de mouvements qui ne sont pas périodiques, ces dimensions seront petites vis-à-vis de la longueur obtenue en divisant la vitesse de propagation de la lumière V par la vitesse relative de $\frac{1}{X}\frac{dX}{dt}$ des oscillations de l'ion.

On supposera de plus qu'il n'existe aucune onde excitatrice, pour considérer seulement l'onde émise par l'ion.

Soit m le vecteur qui représente le moment du couple électrique placé à l'origine des coordonnées. La force électrique F_x en un point (x, y, z) situé à la distance r de l'origine est :

$$F_x = \frac{dS}{dx} - \Delta\left(\frac{m_x}{r}\right)\ldots\ldots,$$

...etc.

La force magnétique :

$$H_x = \frac{1}{V}\frac{d}{dt}\left(\frac{d}{dy} \qquad - \frac{d}{dz}\frac{m_y}{r}\right) = \frac{1}{V}\left(\frac{d}{dy}\frac{m'_y}{r} - \frac{d}{dz}\frac{m'_y}{r}\right)$$

---

et maintenus aussi à la distance $2d$ l'un de l'autre par les anneaux d'ébonite r'.

Chaque plateau mobile (fig. 3) se compose de deux plateaux d'ébonite superposés g, d'épaisseur au plus égale à $\frac{\delta}{2}$. Entre les deux sont disposés un grand nombre de secteurs métalliques étroits s ; chacun de ces

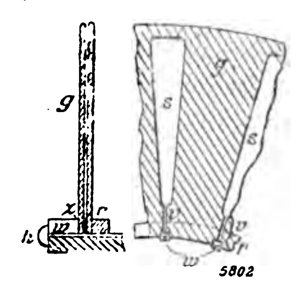


Fig. 3. — Détail des plateaux et des secteurs.

secteurs porte une queue v, par laquelle il communique avec un fil w ; ce fil court le long d'une génératrice sur la surface du tambour b et se termine dans un bouton de métal k.

Les plateaux fixes sont constitués de même, par deux feuilles minces d'ébonite, entre lesquelles se trouvent les inducteurs de papier p. Ceux-ci se terminent à leur partie supérieure par un appendice métallique, en com-

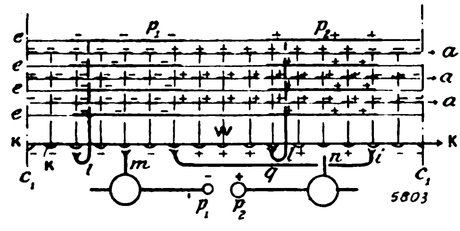


Fig. 4. — Plateaux fixes, balais et boutons de la machine à condensateur.

munication avec une bande de métal qui s'étend sur la surface du cylindre f jusqu'au support l de deux balais i, sur lesquels viennent frotter les boutons K (fig. 4). C'est par ce frottement que s'électrisent les plateaux mobiles.

Les secteurs métalliques jouent le rôle de peignes ; aussi il est avantageux de les constituer par des feuilles de métal assez épaisses, à bords tranchants, ou encore par une feuille de clinquant serrée entre deux couches de feuilles de papier qu'elle déborde (fig. 5 et 6).

Cette construction a l'avantage de favoriser, par la force centrifuge, l'évacuation de l'ozone ; et aussi, pour la même raison, de provoquer une légère raréfaction de l'air qui facilite les mouvements de l'électricité.

Les résultats obtenus sont meilleurs, quand on constitue les secteurs par une bande de métal épaisse t (fig. 6), sur laquelle sont soudés transversalement les peignes v en métal plus mince. L'amélioration est due à la diminution de la surface des secteurs.

Au lieu de laisser les inducteurs fixes, on peut leur donner un mouvement de rotation en sens inverse du

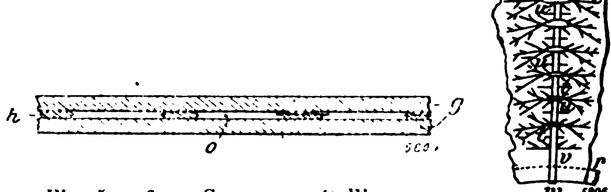


Fig. 5 et 6. — Secteurs métalliques.

mouvement des transporteurs, comme dans la machine de Wimshurst.

D'après l'auteur, une machine dont les plateaux ont 24 cm de diamètre, dont la hauteur totale est 30 cm, la longueur 28, la largeur 22, donne un débit plus grand que celui des plus grandes machines à influence ordinaires. M. L.

S désigne l'expression

$$\frac{d}{dx}\frac{m_x}{r}+\frac{d}{dy}\frac{m_y}{r}+\frac{d}{dz}\frac{m_z}{r},$$

où m_x, m_y, m_z sont des fonctions de $t-\frac{r}{V}$.

D'après la valeur de $\Delta\left(\frac{m_x}{r}\right)$, on peut écrire aussi :

$$F_x=\frac{dS}{dx}-\frac{1}{V^2}\frac{m''_x}{r}$$

Au voisinage du couple électrique, où les termes du premier degré en r sont négligeables au dénominateur, la force électrique F admet un potentiel :

$$-S=-\left(m_x\frac{d\frac{1}{r}}{dx}+m^y\frac{d\frac{1}{r}}{dy}+m_z\frac{d\frac{1}{r}}{dz}\right)$$

Energie émise. — D'après le théorème de Poynting, l'énergie émise par l'ion dans toutes les directions a pour expression :

$$dE=dt\frac{V}{4\pi}\int(F.\,H]_n\,d\sigma$$

n représentant la direction normale à l'élément $d\sigma$, ou encore :

$$dE=\frac{dt}{4\pi}\int d\sigma\left\{F_x\left(\frac{d}{dr}\frac{m'_x}{r}-S'\frac{x}{r}\right)+\ldots\ldots\right\}$$

Cette quantité d'énergie est celle qui traverse la surface d'une sphère de rayon r décrite de l'ion comme centre ; mais elle ne représente pas l'énergie émise par ce dernier pendant le même temps.

L'expression renferme des termes très grands qui sont des différentielles totales par rapport au temps ; par suite leurs intégrales ne dépendent que de l'état vibratoire actuel du couple électrique et croissent et décroissent alternativement comme le moment électrique de ce couple.

Pour obtenir l'énergie perdue définitivement par le couple d'ions, il faut retrancher ces termes. En remplaçant F_x, F_y, F_z par leurs valeurs, on trouve deux tels termes :

$$\frac{dS}{dx}\left(\frac{d}{dr}\frac{m'}{r}-S'\frac{x}{r}\right),$$

différentielle par rapport au temps de

$$\frac{1}{2r}\left\{\frac{d}{dr}\left(\frac{m_x}{r}\right)^2+\frac{d}{dr}\left(\frac{m_y}{r}\right)^2+\frac{d}{dr}\left(\frac{m_z}{r}\right)^2-S^2\right\}$$

Après suppression de ce terme, il reste :

$$dE=-\frac{dt}{4\pi V^2}\int d\sigma\left\{\frac{m''_x}{r}\left(\frac{d}{dr}\frac{m'_x}{r}S'\frac{x}{r}\right)\ldots\right\}$$

Mais

$$\frac{d}{dr}\frac{m_x}{r}=-\frac{m_x}{r^2}-\frac{1}{V}\frac{m'_x}{r}$$

$$\frac{d}{dr}\frac{m'_x}{r^2}=-\frac{m'_x}{r^2}-\frac{1}{V}\frac{m''_x}{r}$$

Par substitution dans l'expression de dE, on met en évidence la différentielle totale :

$$\frac{m''_x}{r}\cdot\frac{m'_x}{r^2}$$

et enfin, en introduisant la composante de m, dans la direction m_r, la différentielle :

$$-\frac{m'_r}{r}-\frac{1}{V}\frac{m''_r}{r}.$$

Finalement, on mettra l'expression de l'énergie sous la forme :

$$\frac{dt}{4\pi V^3 r^2}\int d\sigma\left(m''^2-m''^2_r\right);$$

soit θ l'angle que forme la direction du vecteur m'' avec celle de r,

$$d\sigma=r^2\sin\theta d\theta d\varphi$$

L'énergie totale émise par l'ion pendant le temps dt aura pour valeur :

$$\frac{dt}{4\pi V^3}\int_0^{\pi}\int_0^{2\pi}\sin\theta d\theta d\varphi m''^2\sin^2\theta=\frac{2}{3}\frac{dt}{V^3}m''^2=$$

$$\frac{2}{3}\frac{dt}{V^3}(m''^2_x+m''^2_y+m''^2_z).$$

Energie absorbée. — Si l'ion considéré se trouve dans le champ d'une onde électromagnétique, il absorbe de l'énergie aux dépens de cette onde. Soient F_x, F_y, F_z les composantes de la force électrique, due à l'onde au point (x, y, z). L'énergie communiquée à l'ion a pour valeur :

$$(F_x m'_x+F_y m'_y+F_z m'_z)dt.$$

Ion effectuant des vibrations elliptiques.— Lorsque les vibrations sont à peu près périodiques,

l'énergie de l'ion varie très lentement sous l'influence de l'absorption et de l'émission.

Dans le cas d'une vibration quasi-elliptique, cette énergie a pour expression :

$$E = \frac{1}{2} K \left(m_x^2 + m_y^2 + m_z^2\right) + \frac{1}{2} L \left(m_x'^2 + m_y'^2 + m_z'^2\right)$$

où K et L sont des constantes.

L'équation du mouvement de l'ion (sans amortissement et sans excitation), est :

$$K m_x + L m_x'' = 0.$$

et la période d'oscillation :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{K}}.$$

L'émission d'énergie provoque un amortissement : si on veut en tenir compte, il faut introduire dans l'équation précédente un terme complémentaire, elle devient :

$$K m_x + L m_x'' + M m_x' = 0.$$

La quantité d'énergie perdue par l'ion pendant la durée d'une vibration est :

$$(-E)_t^{t+T} = -\int_t^{t+T} (K m_x m_x' + \ldots + L m_x' m_x'' + \ldots)\, dt.$$

ou bien :

$$\int_t^{t+T} M (m_x'^2 + \ldots\ldots)\, dt.$$

L'énergie émise pendant le même temps est, d'autre part :

$$\frac{2}{3}\int_t^{t+T} \frac{dt}{V^3} (m_x' m_x''' + \ldots),$$

ou approximativement :

$$m_x''' = -\frac{K}{L} m_x'$$

$$\frac{2}{3}\int_t^{t+T} \frac{dt}{V^3} \frac{K}{L} (m_x'^2 + \ldots).$$

Puisque l'amortissement provient seulement de l'énergie émise, cette dernière expression représente aussi l'énergie vibratoire perdue ; par suite :

$$M = \frac{2}{3} \frac{1}{V^3} \frac{K}{L}.$$

L'équation de la vibration devient ainsi :

$$K m_x + L m_x'' + \frac{2K}{3V^3L} m_x' = 0 \ldots \text{ etc.}$$

à la condition que le terme d'amortissement soit petit vis-à-vis des deux autres, c'est-à-dire que K soit petit vis-à-vis de V^6L^3.

Si l'ion reçoit de l'énergie d'une onde, l'équation devient :

$$K m_x + L m_x'' + \frac{2K}{3V^3L} m_x' = F_x \cdots$$

Cette dernière représente donc le mouvement d'un ion effectuant des vibrations quasi-elliptiques, émettant de l'énergie et en recevant par rayonnement.

M. L.

Sur la répartition de l'énergie entre l'éther et la matière, par **M. Planck.** *Drude's Annalen*, t. IX, p. 629-642, nov. 1902.

Il résulte du principe de Clausius que dans un système complètement isolé, possédant un certain quantum d'énergie mécanique ou électromagnétique, il doit se produire dans le cours du temps une répartition bien déterminée de l'énergie entre l'éther et la matière.

Pour trouver cette répartition, on fait usage d'un théorème établi par Boltzmann, dans la théorie cinétique des gaz (1).

---

(1) Imaginons qu'on partage tout l'espace en parties très petites et, de même, toutes les vitesses possibles entre $-\infty$ et $+\infty$ dans les directions des trois axes de coordonnées. Il y aura une triple infinité d'éléments de volume et une triple infinité de vitesses. Chaque triplet d'éléments de volume peut être associé à chaque triplet de vitesses. La loi de répartition, c'est-à-dire l'état du gaz, sera défini par le nombre d'atomes qui se trouveront dans chaque élément de volume. Appelons « combinaison » toute répartition particulière dans laquelle à chaque atome est attribué un élément bien déterminé de l'espace, il est clair qu'à chaque état du gaz correspondra un nombre P bien défini, mais en général très grand, de ces combinaisons.

D'après le théorème de Boltzmann, l'entropie S du gaz est donnée par

$$S = k \operatorname{Log}_e P + \text{const.}.$$

la constante k dépend de l'unité avec laquelle on mesure la température. Quand on considère comme température l'énergie moyenne d'un atome $k = 2/3$.

Soit N le nombre total des atomes du gaz ; le nombre des atomes dont les coordonnées et les vitesses sont res-

Il y a une certaine analogie entre la théorie du rayonnement de la chaleur, considéré comme phénomène électro-magnétique et la théorie cinétique des gaz.

On peut étudier aussi d'abord le phénomène dans des conditions plus générales que celles du régime stationnaire et caractérisées par une répartition quelconque de l'énergie. A chacun des états définis par un mode de répartition arbitrairement choisi correspond une valeur déterminée de l'entropie. Le régime stationnaire ou la répartition normale de l'énergie, telle qu'elle apparaît dans le spectre d'un corps noir correspond à la valeur maxima de l'entropie.

Le calcul se conduit d'une manière tout à fait analogue à celle qui a été exposée ci-dessus.

La répartition de l'énergie entre les différents résonateurs électromagnétiques est définie par une quantité d'énergie vibratoire U_1, U_2, U_3... assignée arbitrairement aux résonateurs en nombre N_1, N_2, N_3... dont les périodes sont ν_1, ν_2, ν_3...

La répartition de U_1 sur les N_1 résonateurs de période ν_1 est définie par un nombre R_1 de combinaisons, qu'on calculerait comme ci-dessus ; de même celle de U_2, par un nombre R_2... etc. Chaque combinaison d'un groupe pouvant être associée à chacune d'un autre groupe, le nombre total des combinaisons possibles est :

$$R_1 R_2 R_3 \ldots\ldots = \mathfrak{R}$$

L'entropie S aura pour expression :

$$S = k \operatorname{Log} R + \text{const.}$$

$$k = 1{,}346.10^{-16} \frac{\text{erg}}{\text{degré}}$$

Si le système renferme à la fois des atomes animés de mouvements mécaniques et de résonateurs électromagnétiques, l'entropie totale sera d'après ce qui précède :

$$S = \omega R \operatorname{Log} P + k \operatorname{Log} \mathfrak{R} + \text{const.}$$

Les deux termes de l'entropie qui représentent l'un l'entropie mécanique, l'autre l'entropie électromagnétique, donnent une mesure de la probabilité de l'état du système qui leur correspond.

Ce résultat obtenu dans deux domaines distincts de la physique est sans doute général et on est autorisé à formuler ce principe :

L'entropie d'un système dans un état quelconque dépend seulement du degré de probabilité de cet état.

---

pectivement comprises entre les limites

$$x \text{ et } x + dx, \quad y \text{ et } y + dy \quad z \text{ et } z + dz$$
$$\xi \text{ et } \xi + d\xi \quad \eta \text{ et } \eta + d\eta \quad \zeta \text{ et } \zeta + d\zeta$$

est donné par

$$f(x, y, z, \xi, \eta, \zeta)\, dx\, dy\, dz\, d\xi\, d\eta\, d\zeta = f(x, y, z, \xi, \eta, \zeta)\, d\sigma ;$$

$d\sigma$ représente un élément de volume et de vitesses. La fonction f définit l'état du gaz. Le nombre des combinaisons possibles est :

$$P = \frac{N!}{\pi\, [f(x, y, z, \xi, \eta, \zeta)\, d\sigma]},$$

π désignant le produit étendu à tous les éléments $d\sigma$.

L'entropie aura pour valeur

$$S = \text{const} - k \int f \operatorname{Log} f\, d\sigma.$$

La fonction f est celle qui rend l'énergie totale U maxima.

$$f = \alpha e^{-\beta(\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2)}$$

où

$$\alpha = \frac{N}{V} \left(\frac{3mN}{4\pi U}\right)^{3/2}$$

$$\beta = \frac{3mN}{4U},$$

m étant la masse de l'atome, V le volume du gaz.

La valeur maxima de S sera

$$S = \text{const} + kN \left(\frac{2}{2} \operatorname{Log} U + \operatorname{Log} V\right)$$

D'autre part, l'entropie définie par la thermo-dynamique, pour un gaz dont le volume est V, la température θ et qui renferme n atomes-grammes, est

$$S = \text{const} + n\,(C \operatorname{Log} \theta + R \operatorname{Log} V)$$

(c chaleur spécifique à volume constant, R, constante des gaz). Or θ est proportionnel à U et dans un gaz monoatomique

$$\frac{c}{R} = \frac{3}{2}.$$

Les deux expressions seront identiques si on pose

$$nR = kN$$

ou, en désignant par ω le rapport $\frac{n}{N}$ de la masse d'un atome à la masse atomique en grammes,

$$k = \omega R$$

et

$$S = \omega R \operatorname{Log} P + \text{const.}$$



L'équilibre thermodynamique d'un système répondrait à l'état le plus probable. Les phénomènes de température et de rayonnement (chaleur en équilibre ou en mouvement) sont indépendants, les combinaisons P et R auxquelles il est fait allusion dans ce qui précède sont aussi indépendantes : S ne dépendra donc que du produit (PR). Il faut donc que :

$$\omega R = k$$

et

$$S = k \operatorname{Log} (PR) + \text{const.}$$

La valeur de k calculée d'après le rayonnement convient aussi à la théorie cinétique des gaz.

La répartition « stable » de l'énergie entre l'éther et la matière est donc celle qui admet le plus grand nombre possible de combinaisons, en comptant ensemble les combinaisons mécaniques et électromagnétiques.

D'après l'équation ci-dessus :

$$\omega = \frac{k}{R} = \frac{1,346.10^{-16}}{8,31.10^{7}} = 1,62.10^{-24}$$

La masse d'un atome est de $1,62.10^{-24}$ de la masse atomique exprimée en grammes.

La charge électrique élémentaire (charge d'un ion monovalent, en unités électrostatiques est :

$$e = 1,62.10^{-24}.9654.3.10^{-10} = 4,69.10^{-10}.$$

M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

AMERICAN INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS

Sur les chemins de fer électriques. Discussion de la communication de **Hutchinson**(¹). *Transact. of Am. Inst. of Elect. Eng.* t. XIX, p. 867-903, n° de juin-juil. 1902.

M. Steinmetz, président, ouvre la discussion sur cet important sujet, en signalant l'influence prépondérante du nombre des arrêts et de leur fréquence sur la détermination de la capacité des moteurs et les déductions fondamentales auxquelles conduit l'examen des courbes des vitesses en fonction du temps données par M. Hutchinson. Dans toute sa généralité, le problème de la traction électrique consiste à transporter un poids donné dans un temps et à une distance donnés. Pour obtenir ce résultat, le moteur doit surmonter la résistance au frottement qui est exprimée, approximativement, par le produit du poids du train par la distance et le coefficient de frottement ; c'est là le travail utile ; en outre, le moteur doit fournir l'énergie dissipée par les freins à l'arrêt ; de sorte que l'on peut appeler rendement mécanique du cycle moteur le rapport du travail utile à la somme des deux travaux précédents. Pour les longs parcours, le rendement sera voisin de l'unité ; pour les lignes urbaines, au contraire, où les arrêts sont nombreux et fréquents, l'énergie dissipée par les freins est notable, et le rendement mécanique doit être déterminé soigneusement. Pour ces services, le rendement sera maximum, quand les freins sont appliqués aux plus faibles vitesses possible ; il sera donc important d'obtenir des périodes d'accélération et de ralentissement très courtes.

Le rendement total du cycle moteur sera le produit du rendement mécanique précédent par le rendement électrique du moteur. Mais ces deux rendements ont des effets opposés sur le rendement total (¹), de sorte qu'il est nécessaire

(¹) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXXI, p. 468-475, 28 juin 1902.

(¹) Il faut, en effet, distinguer le rendement pendant la manœuvre des résistances et celui qui se rapporte à la caractéristique du moteur. Le premier est nécessairement inférieur à 50 p. 100 parce que, en admettant une accélération constante, la puissance à fournir au moteur est constante et indépendante de la vitesse qui varie de 0 à la vitesse au moment de la suppression des résistances et la vitesse moyenne est la moitié de cette dernière, tandis que l'énergie fournie correspond à la vitesse maxima ; le rendement moyen pendant cette période sera donc égal à la moitié du rendement au moment de la suppression des résistances ; toutefois les pertes dans le fer sont plus faibles à vitesse réduite. Mais il en résulte, néanmoins, que cette première période doit être raccour-

de les combiner judicieusement pour obtenir le rendement total maximum.

M. W.-C. Gotshall a dirigé, avec M. Mailloux, des essais de traction électrique sur trains lourds et rapides, pour le compte de la « New York and Port Chester Railroad C° »; plusieurs centaines de diagrammes de marche ont été observés et l'orateur est obligé de reconnaître que ses conclusions sont diamétralement opposées à celles de Hutchinson. Il estime, qu'en l'état de la question, il faut se garder de préconiser des solutions trop générales d'un problème aussi complexe, et de ne pas sacrifier l'exactitude à la simplicité. M. Hutchinson suppose, en effet, que la voie est droite, en palier, que la résistance du train est constante à toutes vitesses et que les formules et règles s'appliquant à la pratique des tramways conviennent aussi pour la traction rapide. L'orateur ne croit pas, dans ces conditions, que la méthode de l'auteur ait une grande valeur pratique. Ainsi, d'après les essais précités, le paramètre d'accélération A de M. Hutchinson subit des variations de plus de 200 p. 100 avec les divers parcours effectués; il n'est donc pas même possible de lui donner une valeur moyenne applicable à toutes les conditions d'un trajet quelconque. L'auteur reproduit plusieurs des courbes vitesses-temps qu'il a relevées sur la ligne de Harlem-River à Port-Chester (33,6 km) [1].

La durée du parcours proposée est de 31 minutes pour les express et de 49 pour les trains ordinaires; la vitesse moyenne serait dans le premier cas de 71 km et dans le second, de 46,6 km à l'heure, sans compter le temps des arrêts d'environ 15 secondes par chaque station. Chaque voiture est équipée avec 4 moteurs, dont un sur chacun des quatre essieux. Les voitures d'express pèsent 52 tonnes, dont 17 pour les moteurs et leur équipement [2].

Pour en revenir à l'étude de M. Hutchinson, l'orateur fait remarquer qu'il n'existe pas de lignes absolument sans pente et sans courbes. Les courbes introduisent une résistance à la traction, au même degré que les pentes; mais leur intérêt réside surtout dans ce fait qu'elles limitent la vitesse des trains qui s'y engagent, ce qui est d'une importance capitale dans un service de trains rapides. Si ces courbes se trouvent en cours de route, comme il est inadmissible de limiter la vitesse normale du moteur à celle que l'on ne peut dépasser dans ces courbes, il faudra nécessairement ralentir, soit en coupant le courant, soit en freinant, et reprendre l'accélération aussitôt la courbe franchie. Les diagrammes de vitesses présenteront donc en ces points des « dents » ou points anguleux et la consommation en watts-heure par tonne-kilomètre s'en ressentira. La communication de M. Hutchinson ne tient aucun compte de cet ordre de faits.

D'autre part, il est évident que l'accélération initiale dépend de la pente de la voie. Il en résulte que la vitesse atteinte en un temps donné et avec une certaine dépense d'énergie, dépend également de la pente. L'auteur montre cette influence dans les divers diagrammes qu'il a relevés sur différentes pentes.

En outre, la résistance à la traction devient une fonction de la vitesse; quand cette dernière atteint de 65 à 100 km à l'heure, l'exposant de cette fonction est compris entre 1,50 et 2. M. Armstrong a montré que, pour un parcours donné, la vitesse maxima varie en raison inverse de l'accélération initiale. Donc l'énergie consommée sera plus grande avec de faibles accélérations.

Les courbes présentées par l'orateur montrent encore que le paramètre d'accélération A de M. Hutchinson n'est pas une variable indépendante et dépend notamment de la longueur du parcours, de la vitesse maxima, etc.

En résumé, les essais de l'auteur sont en désaccord absolu avec les conclusions de M. Hutchinson, attribuant une dépense d'énergie moindre à l'usage des accélérations faibles.

---

cie le plus possible. Pendant la période suivante, le courant et, par suite, l'accélération décroissent; l'accélération totale moyenne en sera donc amoindrie, mais le rendement électrique dans cette période est maximum. Accroître le rendement mécanique, c'est augmenter l'accélération moyenne et accroître le rendement électrique, c'est diminuer cette accélération.

(1) Cette ligne est à 4 voies, dont deux pour les express et deux pour le service local. Les trains express desservent 11 stations, avec 10 arrêts; les trains d'intérêt local desservent 22 stations, avec 21 arrêts.

(2) Les courbes citées par l'orateur sont extraites du rapport d'experts soumis à la Commission des chemins de fer et ont soutenu victorieusement les critiques désespérées qu'ont soulevées contre elles plusieurs Compagnies, devant cette commission.



M. Gerry fait remarquer que l'énergie nécessaire pour déplacer un train comprend : 1° celle due à l'inclinaison de la voie ; 2° celle due à la résistance du frein (frottement) et 3° l'énergie cinétique nécessaire pour amener le train à une vitesse donnée, énergie qui est dissipée par les freins. Cette dernière devient une fraction importante de l'énergie totale quand les stations sont rapprochées et la vitesse assez grande ; dans le cas contraire, l'énergie cinétique est un facteur moins important, et les accélérations n'ont pas besoin d'être élevées.

L'orateur conteste également la conclusion de M. Hutchinson aboutissant à établir la capacité du moteur proportionnellement à l'énergie requise par l'accélération, attendu que tous les moteurs modernes sont susceptibles de surcharges assez fortes. Enfin, l'orateur estime que les avantages des accélérations élevées ne se bornent pas seulement à une économie d'énergie, surtout dans les cas où la vitesse du trajet est plus importante que la dépense d'énergie.

M. S.-T. Dodd a appliqué les courbes et formules de M. Hutchinson à divers cas particuliers et est arrivé à cette conclusion que les fortes accélérations sont, dans les cas étudiés, plus économiques comme dépense d'énergie et aussi, comme capacité de la station génératrice.

M. Hutchinson réplique que sa communication est, en général, mal interprétée. L'orateur s'est proposé de montrer l'influence de l'accélération sur la dépense d'énergie et la capacité du moteur. Pour cela, il a pris un parcours et un horaire donnés, et l'accélération initiale variable. Il ne s'agit donc pas de déduire de ses conclusions ce qui doit arriver pour des vitesses totales moyennes différentes de celle qu'il a adoptée. L'orateur est arrivé à la règle qui consiste à adopter comme meilleure accélération initiale celle qui conduit à la plus faible capacité du moteur, à condition d'admettre que la puissance développée pendant la période d'accélération ne sera pas supérieure à la puissance normale du moteur. La meilleure réponse que l'auteur puisse faire aux diverses critiques adressées à sa communication est que, en suivant la règle précédente et en se servant de ses diagrammes, on arrive à des résultats pratiquement identiques à ceux obtenus par les ingénieurs du chemin de fer élevé de Manhattan, après de longues recherches expérimentales, résultats publiés par l'*Electrical World* du 25 janvier 1902.

P.-L. C.

Congrès de Great Barrington

18-21 juin 1902 (1).

Notes sur le tracé des courbes de vitesses en fonction du temps, par **C.-O. Mailloux.** *Transactions of the Am. Inst. of El. Eng.*, t. XIX, p. 1035-1137, août-sept. 1902).

La question de la traction électrique appliquée aux chemins de fer tient une place de plus en plus grande dans les discussions des assemblées techniques anglaises et américaines. L'absence de données expérimentales précises a donné naissance à des études théoriques où bien souvent l'exactitude et l'utilité pratique sont sacrifiées à la recherche de la simplification de ce problème complexe. Et cependant, la détermination des facteurs qui y entrent, dans un cas déterminé, suppose non seulement la connaissance des faits actuels, mais encore la prédétermination de ce qui peut et doit se passer à chaque instant dans la marche d'un train entre deux stations. A cet égard, les courbes de vitesses en fonction du temps constituent le critérium indispensable, la base nécessaire d'une étude de ce genre. Parmi les deux méthodes de poursuivre cette étude, l'une ne recherche que la simplicité et suppose la voie en palier et sans courbes, la résistance du train constante à toute vitesse, la longueur de tous les trajets égaux. Ces conditions sont toutes théoriques et ne peuvent conduire qu'à des résultats sans grande valeur pratique quant à la détermination de la puissance et de l'énergie à fournir, de l'équipement des moteurs et de la station génératrice. Le deuxième procédé d'étude des courbes vitesses-temps, quoique plus délicat, est d'une précision rigoureuse ; il s'applique à des cas concrets et tient compte de toutes les circonstances du problème telles qu'elles se présentent dans la réalité. Dans cette communication, l'auteur se propose d'en faciliter l'étude, en y apportant des observations théoriques et pratiques qui en rendront l'analyse moins ardue et en simplifieront la synthèse.

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXXIII, p. 97, 282, 318 et 450, 18 octobre, 22 et 29 novembre et 27 décembre 1902.



L'auteur a l'intention de reprendre la question à son origine; dans quelques appendices, il expose les principes de cinématique et les définitions nécessaires à l'intelligence du sujet. Il en déduit quelques formules sur le mouvement des trains, que nous expliquerons dans le cours de cette analyse.

I. Analyse du mouvement d'un train. — Le mouvement le plus simple d'un train entre deux arrêts se compose de 3 périodes, celle de l'accélération, celle de l'allure libre et celle du freinage. Mais quand le tracé de la voie comprend des courbes de faible rayon, la courbe des vitesses-temps présentera des parties rentrantes correspondant à chaque ralentissement, quand le train s'engage dans une courbe. Si la courbe se trouve au voisinage d'une station, les parties rentrantes seront peu prononcées ou n'existeront même pas, l'accélération ou le ralentissement, qui sont représentés par l'inclinaison de la courbe des vitesses-temps, en seront seulement modifiés.

Accélération. — Chaque cycle ou période d'accélération correspond à la durée pendant laquelle une force est appliquée au train pour en augmenter la vitesse. L'énergie fournie au train est, on le sait, convertie par ce dernier : soit 1° en chaleur, et cette portion représente l'énergie dépensée pour vaincre la résistance des frottements ; soit 2° en énergie emmagasinée dans la masse du train. Cette énergie est emmagasinée sous forme d'énergie cinétique, en produisant une certaine accélération, ou sous forme d'énergie potentielle, quand le train monte ou descend une rampe [1].

Au point de vue du mouvement du train, ces énergies sont toutes équivalentes à une résistance apparente de frottement, avec cette différence que l'énergie emmagasinée est restituée au mouvement dans une proportion plus ou moins grande, tandis que l'énergie dissipée en chaleur est complètement perdue.

Si on considère une courbe des vitesses en fonction du temps dans la période d'accélération positive, cette accélération étant représentée à chaque instant par le coefficient angulaire des tangentes aux divers points de la courbe, ce coefficient angulaire est toujours positif dans cette période. D'autre part, si k, k', k'', etc., sont les diverses accélérations correspondant aux diverses forces appliquées au train, l'accélération résultante A' est égale à la somme algébrique des précédentes.

$$A' = \frac{dv}{dt} = k \pm k' \pm k'' \pm \ldots\ldots$$

Si W est le poids en tonnes et p l'effort de traction correspondant à la force appliquée, on a

$$k = \frac{dv}{dt} = 0{,}00981\,\frac{p}{W};$$

p est exprimé en kg, k en mètres par seconde par seconde et v en kilomètres par seconde [1].

On aura donc

$$A' = \frac{0{,}00981}{W}\,(p \pm p' \pm p'' \pm \ldots\ldots)$$

Si p, p', p'' désignent des kilogrammes par tonne, on aura

$$A' = 0{,}00981\,(p \pm p' \pm p'' \pm \ldots\ldots) \qquad (1)$$

Ainsi définis, les éléments entrant dans la composition de l'accélération sont :

$P = \frac{T}{W}$, l'effort de traction dû au courant du moteur en kilogrammes par tonne (T est l'effort de traction total) [2].

f, l'effort dépensé à vaincre les résistances de toutes sortes (frottement dans les paliers, résistance de l'air et du vent, etc.), mais non compris la résistance due aux courbes.

c, l'effort dépensé à vaincre la résistance additionnelle due aux courbes.

G, l'effort de traction supplémentaire intro-

---

(1) Les deux formes d'énergie emmagasinée se rencontrent souvent en même temps : quand le train descend une rampe, l'énergie totale emmagasinée est évidemment la différence des deux espèces d'énergies.

(1) L'auteur fait remarquer justement, dans un appendice où il donne la transformation de ses calculs en unités métriques, que si l'on prend pour unité de vitesse le kilomètre, par heure, il serait assez logique de prendre pour unité d'accélération le kilomètre par heure, par seconde, au lieu du mètre par seconde par seconde, puisque par définition l'accélération est le taux de l'accroissement de la vitesse.

(2) Cet effort de traction T, dépend du courant qui traverse le moteur à l'instant considéré; comme ce courant, dans le moteur-série dépend essentiellement de la vitesse, l'effort T en dépend lui-même, et en outre, de la réduction d'engrenage.

duit par les pentes (positif ou négatif, suivant que le train descend ou gravit la pente).

I, la force dépensée à vaincre l'inertie linéaire.

i, la force dépensée à vaincre l'inertie de rotation [1].

Toutes ces quantités sont exprimées en kilogrammes par tonne de poids du train [2].

En posant $p = I + i$, l'équation (1) deviendra

$$A' = 0{,}00981\,(P - f - c \pm G) = 0{,}00981\ p \qquad (2)$$

d'où

$$p = P - f - c \pm G.$$

Ralentissement. — Dans cette période, l'effort P est supprimé et l'on a

$$-p = -f - c \pm G;$$

l'énergie emmagasinée se dissipe en surmontant les résistances qui s'opposent au mouvement jusqu'à l'arrêt. S'il n'y a ni rampes ni courbes, on a simplement

$$p = f.$$

Si on applique un frein, on introduit une force retardatrice B, équivalente pour les trains rapides à 75 kg par tonne métrique; de sorte que l'accélération devient

$$-A' = -0{,}00981\,(-B - f - c \pm G.)$$

En pratique, f et c sont négligeables vis-à-vis de B, ou du moins l'on suppose, pour simplifier, que ces termes sont compris dans l'expression B, dans le tracé des courbes de vitesses [3]. On a alors

$$-A' = -0{,}00981\,(75 \pm G) = -0{,}735 \pm 0{,}00981\ G$$

[1] Cette dernière agit comme si elle augmentait la masse du train en déplacement linéaire; et on en tient compte en augmentant de 10 p. 100 l'inertie du train.

[2] Le terme f varie avec la vitesse du train. — Le terme c varie avec le degré de courbure de la voie. On admet ordinairement que la résistance introduite est de 0,35 à 0,45 kg par tonne, par degré de courbure.

Le terme G dépend de la pente; si q en exprime le taux, on admet que

$$G = 10\,q$$

kilogrammes par tonne.

[3] A défaut de données plus précises, on est obligé de supposer B constant et indépendant de la vitesse, ce qui conduit à un arrêt un peu plus prématuré qu'il ne l'est en pratique.

II. Tracé des courbes de vitesses en fonction du temps. — L'auteur suppose que l'équipement électrique des voitures a été choisi et se propose d'examiner, au moyen des courbes de vitesses, si l'équipement est bien approprié au service qu'on lui demande, en ce qui concerne la vitesse totale moyenne, la fréquence des trains, etc. Il divise les courbes de vitesses en trois régions : la région d'accélération, la région d'allure libre (dérive) et la région de freinage ou d'arrêt, et étudie le tracé séparé de chaque région.

Période d'accélération. — La région de la courbe des vitesses correspondant à cette période se construit sur les données fournies par le constructeur du moteur. Ces données se trouvent généralement sous forme de caractéristiques d'effort de traction, de vitesse et de rendement en fonction du courant. On ne construit ces courbes que pour un voltage et une réduction d'engrenage donnés; si on doit considérer d'autres vitesses et d'autres réductions, il suffit de modifier la vitesse proportionnellement à la variation de voltage et de réduction et l'effort de traction en raison inverse de la variation de la réduction. En divisant l'effort de traction, correspondant à un courant donné, par le poids total du train, on aura l'effort de traction P par tonne qui figure dans l'équation (2). En prenant les valeurs de l'effort de traction et de la vitesse correspondant à un même courant, on en déduira la courbe des efforts en fonction des vitesses. On doit connaître également les valeurs des quantités f, c, G, mais dans un premier tracé, on supposera la voie en palier et sans courbes; quant aux valeurs de f, on les déduira de formules empiriques les donnant en fonction des vitesses du train [1].

Connaissant P et f, la formule (2) donne l'accélération à la vitesse considérée. Il s'agit de déduire de là la courbe des vitesses en fonction du temps. L'auteur rappelle les méthodes usitées jusqu'à présent pour cette détermination [2].

Le problème consiste, étant donné deux ordon-

[1] Les meilleures formules sont actuellement celles publiées dans des articles de *Street Railway Journal*, de mai et juin, sur la résistance des trains.

[2] Un premier procédé consiste à porter les vitess e en ordonnées, et de tracer à leur extrémité des droites inclinées d'un angle correspondant à l'accélération cal-



nées (vitesses) et des coefficients angulaires correspondants (accélérations), à déterminer avec une approximation donnée l'accroissement correspondant des abscisses (temps). Soient y, y' les valeurs de deux vitesses voisines, et soit

$$\Delta y = y' - y$$

l'accroissement des vitesses. On admettra, comme

Fig. 1.

première approximation, que le point de contact de la tangente parallèle à la sécante joignant les extrémités de y, y' correspond à l'ordonnée moyenne

$$y'' = \frac{y + y'}{2}$$

Soit k'' l'accélération correspondant à cette vitesse y'' ; on aura alors

$$\Delta x = \Delta y \times \frac{1}{k''}.$$

pour la distance des deux ordonnées.

culée comme il vient d'être dit $\left(\operatorname{tg}\alpha = \frac{dv}{dt}\right)$; on déplace ensuite deux ordonnées consécutives parallèlement à elle-même jusqu'à ce que le point de rencontre des deux tangentes se trouve à peu près à égale distance des deux points de contact. On continuera de même pour les autres ordonnées de proche en proche ; la courbe enveloppée de toutes ces tangentes sera la courbe cherchée, mais il va sans dire qu'on n'est guidé pour la construire que par le sentiment de la continuité, et que les erreurs peuvent s'y accumuler de façon à donner des résultats très éloignés de la réalité. Cette méthode est cependant encore très usitée.



On peut parfaire cette méthode en rappelant que l'accélération résultante imprimée à un train est la somme algébrique des diverses accélérations que tendent à lui imprimer les différentes forces qui lui sont appliquées.

L'auteur construit deux diagrammes, celui des « coefficients d'accélération » et celui des « inverses ». Le premier n'est autre que la courbe des accélérations en fonction des vitesses. On construit ce diagramme pour les diverses valeurs de P, f, G, c.

Ainsi, les courbes Q, R (fig. 1) sont les courbes d'accélération avec les diverses valeurs de la résistance des trains f [1].

Dans l'une des courbes Q, les valeurs de la résistance f comprennent tous les frottements mécaniques de l'appareil moteur (paliers, engrenages), tandis qu'ils en sont exclus dans la courbe R. La première correspond au cas où le train se déplace par sa seule inertie, et les frottements en question sont surmontés par l'énergie cinétique seule ; au contraire, quand le moteur est en action, ces frottements ne doivent pas être compris dans l'effort de traction que le moteur est capable de fournir pour un travail *extérieur*. Ces courbes serviront donc l'une pour la période d'arrêt, l'autre pour la période d'accélération. Les courbes Q′, R′ sont les mêmes que les précédentes, reportées symétriquement par rapport à l'axe des abscisses.

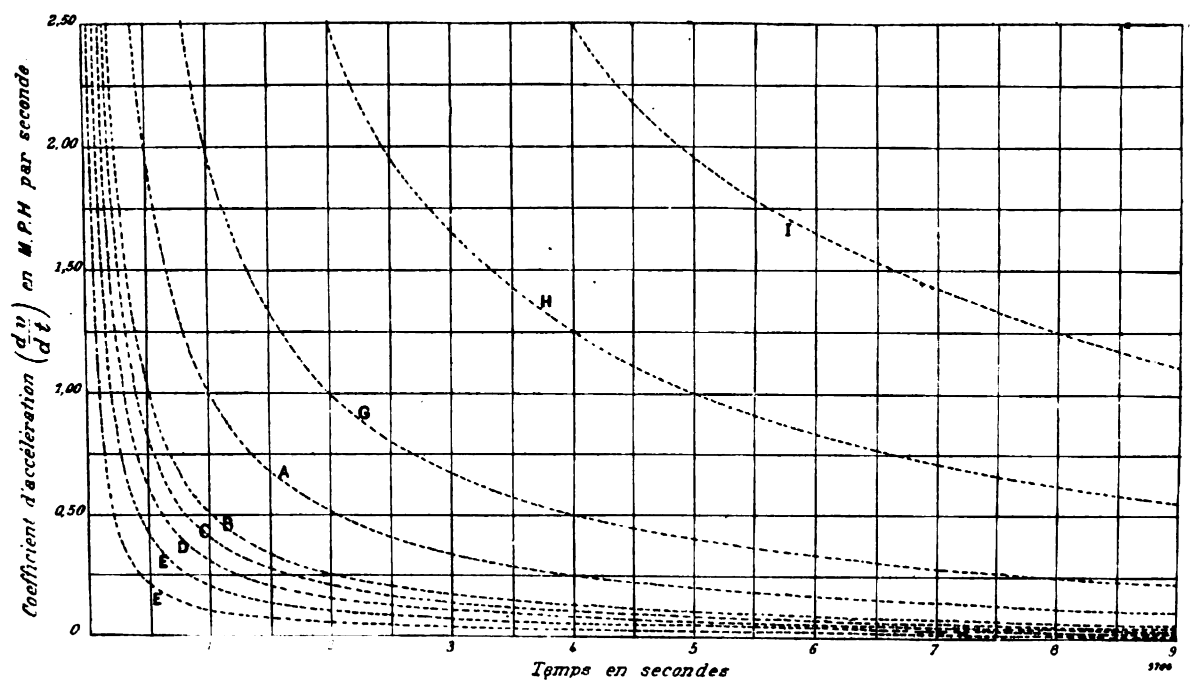


Fig. 2.

La courbe M est la courbe d'accélération due à l'effort de traction brut P, déduit de la caractéristique du moteur convenablement corrigée.

La courbe N peut être appelée courbe d'accélérations nettes ; elle s'obtient par soustraction des ordonnées de R de celles de M.

Les accélérations dues à la déclivité sont indépendantes de la vitesse et seront représentées par des lignes droites ; l'auteur les reproduit

[1] Les valeurs de f étant évaluées en fonction de la vitesse, d'après une formule ou d'après des essais directs sur la ligne, l'accélération, en milles par heure par seconde, est donnée par la formule

$$a = 0{,}01098 \times \frac{f}{W}$$

où f est exprimé en livres (453 gr) et W en tonnes (2 000 livres); dans le système métrique, l'accélération A étant exprimée en mètres par sec. par sec., F en kg et W en tonnes métriques, la relation ci-dessus devient :

$$A = 0{,}00981 \frac{F}{W}$$

(1 mille par heure par seconde = 0,447 m par sec. par sec.).

pour les pentes de 0,1 à 5 p. 100 en dessus et en dessous de l'axe des x. Il en est de même pour les accélérations correspondant à c, mais l'auteur ne les a pas représentées. D'ailleurs, en admettant qu'une pente de 1 p. 100 entraîne un accroissement de résistance de 10 kg, le nombre de degrés N de la courbure, qui est équivalent à cette déclivité de 1 p. 100, est

$$N = \frac{22,04}{b'},$$

b' est l'augmentation de la résistance en kg par tonne, par degré de la courbe, et la pente équivalente à N degrés de la courbe est

$$G = 0,045\ N.b'.$$

Quand il n'y a pas de courbes, l'accélération résultante s'obtiendra simplement en déplaçant l'axe des abscisses d'une hauteur égale à la déclivité et ses variations seront représentées par la courbe N. Par conséquent, aux points où cette courbe coupe les différentes horizontales de déclivité sur le diagramme (fig. 1), l'accélération est nulle et la vitesse maxima. Le tracé de ces courbes permet en même temps de déterminer, pour un ensemble de conditions données, la vitesse que l'on pourra atteindre [1].

L'épure des « inverses » des accélérations sert à déterminer l'accroissement de temps correspondant à une vitesse quelconque ; autrement dit, la différence des temps correspondant à deux vitesses quelconques très voisines. Dans la figure 2, les ordonnées représentent des accélérations à la même échelle que dans la figure 1, et les abscisses désignent des temps en secondes.

La courbe A est la représentation graphique de l'équation

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = k$$

x désignant le temps, y les vitesses. Autrement dit, on a construit l'hyperbole

$$x = \frac{1}{k}$$

k désignant les diverses accélérations. Les courbes B, C, D, E, F, G, H, I, sont la représentation de l'équation

$$x = \frac{\Delta y}{k}$$

où Δy prend successivement les valeurs 0,5 — 0,4 — 0,3 — 0,2 — 0,1 et 2, 5, 10, ces nombres désignant l'accroissement de vitesse adopté pour la construction des courbes de vitesses et désignant des milles par heure (1,609 km par heure).

Pour se servir de ces courbes, on prend sur la figure 1 l'accélération correspondant à la vitesse pour laquelle on cherche l'accroissement de temps, et on cherche le point où la droite parallèle à l'axe des x, sur la figure 2, et ayant pour ordonnée à l'origine l'accélération susdite, coupe celle des courbes construite avec l'accroissement Δy choisi ; l'abscisse correspondante sera l'inconnue Δx cherchée [1].

Courbes de marche en dérive. — Quand le train est abandonné à lui-même, on n'a plus à considérer, comme il a été dit, que la résistance du train, l'effet des courbes et des rampes. Si l'énergie cinétique des parties tournantes ne suffit pas pour contrebalancer l'augmentation de la résistance du train due aux frottements dans l'appareil moteur séparé de sa source d'énergie, il faut construire des courbes comme celles de la figure 1 (Q). La détermination de la courbe des vitesses-temps se fera comme pour la période d'accélération ci-dessus.

---

[1] La résistance f variant avec le nombre de voitures, et probablement avec leurs formes et leurs dimensions, il sera bon de construire différentes épures suivant la composition des trains. Les lignes de déclivité resteront les mêmes, et il suffira de recommencer le tracé pour les courbes de « traction » (M et N) et pour les courbes de « résistance » R. — L'auteur recommande de construire ces courbes à très grande échelle, surtout pour les trajets à faibles accélérations ; celles que nous reproduirons ont été établies par l'auteur à l'échelle de 20 cm par mille par heure par seconde (0,447 m. par sec. par sec.).

[1] Il est important de noter que l'on ne pourra pas se servir de la même courbe de la figure 2, avec le même degré d'exactitude, pour construire toute la courbe des vitesses. L'épure ne peut évidemment servir que pour les accroissements de temps Δx, qui ne dépassent pas 9 secondes (voy. fig. 2) ; cette limite est atteinte, dans la courbe I, quand l'accélération est de 1,11 ; et en général dans les autres courbes, pour $\frac{\Delta y}{9}$. Pour des études très précises, l'auteur se sert des courbes A ou B pour les grandes accélérations (au-dessus de 2 et entre 2 et 1,5 m. par heure et par seconde), puis de C, D, E pour les accélérations moyennes et de F pour les plus faibles. La pratique est le meilleur guide pour ce genre d'opérations.

Courbes de ralentissement. — En pratique, on admet que l'accélération due à la résistance introduite par les freins est constante. Dans l'épure de la figure 1, on aura donc une parallèle à l'axe des abscisses pour représenter cette accélération en fonction de la vitesse [1].

La courbe résultante devrait, en outre, se composer des accélérations correspondant à f, c, G. Mais en pratique, on admet que $B+f+c$ est équivalent à une résistance de 75 kg par tonne, et on ne conserve que G, de sorte que la résistance totale est égale à $(75 \pm G)$ kg par tonne, l'accélération correspondante étant

$$A = 0{,}0098\ (75 \pm G) \text{ m. par sec. par sec.}$$

Tous les problèmes se rapportant à la période de freinage se résolvent très simplement, en tenant compte de ce que les aires interceptées par les portions de la courbe vitesses-temps représentent des espaces parcourus.

Courbes des espaces en fonction du temps. — La remarque précédente conduit immédiatement à la détermination de la courbe des espaces, qui se fera simplement en planimétrant l'aire interceptée par la courbe des vitesses-temps et des ordonnées séparées d'intervalles égaux, de 10 secondes par exemple [2]. Ces courbes des espaces sont très utiles pour déterminer les temps correspondant à une distance donnée et pour raccorder entre elles, sur ces points, les diverses portions de la courbe des vitesses.

L'auteur fait deux applications très intéressantes des méthodes précédentes à deux parcours réels de la ligne New-York-Port Chester. Il entre, à ce sujet, dans tous les détails du diagramme de marche et du raccordement des diverses régions des courbes.

Il déduit enfin de son étude la manière de tracer les courbes de puissance, d'énergie et de puissance, d'après les procédés bien connus des praticiens.

P.-L. C.

(1) Le temps nécessaire pour couvrir la distance qui reste à franchir jusqu'à la station est, avec cette hypothèse, plus ou moins inférieur à la durée réelle, mais, en général, la différence est négligeable.

(2) L'auteur recommande l'emploi de l' « Intégraphe », de M. Abdank-Abakanowicz, qui, outre le résultat numérique de l'intégration, indique les étapes de l'intégration en traçant la courbe dite « intégrale ».

Etude de l'échauffement des moteurs de traction, par **A.-H. Armstrong**. *Transactions*, t. XIX, p. 568-592, numéro de mai 1902.

Les données expérimentales sur le fonctionnement des voitures électriques dans un service rapide interurbain font encore défaut sur un grand nombre de points ; l'ingénieur doit veiller à maintenir l'équipement dans des limites de température raisonnables et, dans ce but, connaître les dimensions nécessaires pour éviter

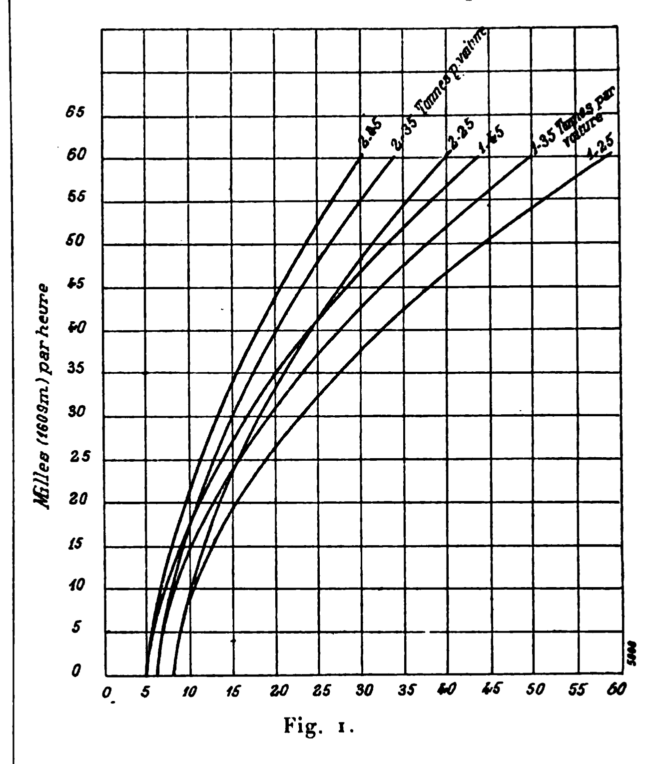


Fig. 1.

un excès de température, tout en tenant compte de la capacité requise pour un service rapide.

Les seules données que l'on possède sont des résultats d'essais de la General Electric C° sur la ligne de Buffalo-Lockport, avec des trains constitués par une locomotive électrique de 38 tonnes et des wagons ordinaires. Ce sont ces données que l'auteur prendra pour base de ses calculs [1].

L'échauffement dans un moteur étant le résultat de toutes les pertes d'énergie qui s'y produisent, ces pertes doivent être étudiées, quant à leur grandeur et leur distribution, dans chaque phase du fonctionnement.

(1) Les essais de frottements ont été publiés dans le *Street Railway Journal* de mai 1902.



La figure 1 représente la valeur des frottements pour des vitesses allant jusqu'à 96 km à l'heure.

La tendance à employer pour les chemins de fer électriques des voitures plus lourdes, dont

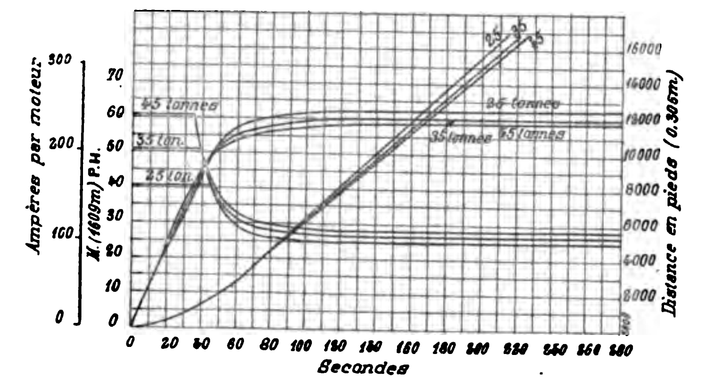


Fig. 2.

le poids varie entre 25 et 45 tonnes, conduit l'auteur à considérer des voitures de 25, 35 et 45 tonnes, équipées avec quatre moteurs. Si la voiture de 35 tonnes possède une réduction correspondant à 96,6 km à l'heure, les courbes des vitesses en fonction du temps seront représentées par la figure 2, où l'on a admis un effort de

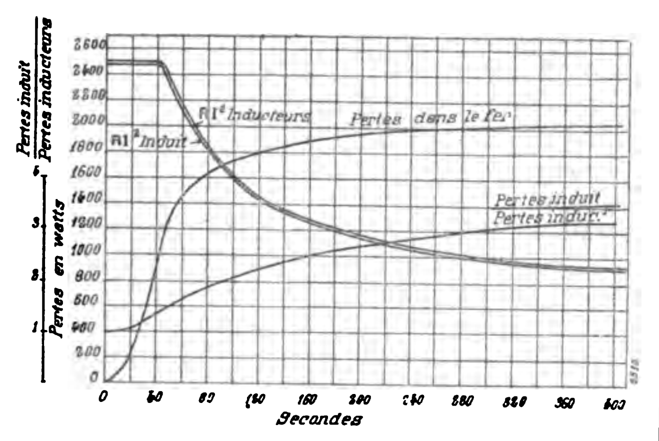


Fig. 3.

traction de 120 livres (54,5 kg) par tonne, donnant une accélération nette de 0,473 m par seconde. Pour plus de simplicité, l'auteur admet que les frottements seront les mêmes pendant l'accélération et le ralentissement. La courbe de la marche à vide suivra la forme des courbes de la figure 1, et indiquera un ralentissement plus fort aux grandes vitesses qu'aux faibles.

Les pertes sont indiquées par les courbes de la figure 3 pour une voiture de 35 tonnes, la vitesse et le courant étant ceux de la figure 2. Ces courbes montrent que les pertes dans le cuivre tombent de 5000 à 1800 watts après 400 secondes environ. Un équipement pour une vitesse de 96,6 km à l'heure n'est guère admissible que pour un parcours d'au moins 4,5 km, pour lequel il faudra appliquer la force motrice pendant 160 secondes environ ; ce qui montre le rôle peu important que jouent les pertes pendant la période d'accélération pour les grandes vitesses [1].

L'auteur suppose ensuite que l'on fasse parcourir à une voiture électrique une longueur de voie donnée, en enregistrant exactement le courant et la tension pour chaque moteur.

En renouvelant ce parcours, pendant dix heures consécutives, le moteur atteindra sa température maxima, et l'on aura la relation entre cette température et les pertes d'énergie dans le moteur. Si l'on effectue une série d'essais semblables pour des longueurs de parcours différentes, on obtiendra une série de relations que l'on pourra utiliser directement dans les calculs. Un conducteur expérimenté reproduira sans difficulté un même parcours dans les mêmes conditions de vitesse.

La figure 4 reproduit les caractéristiques d'un essai de ce genre. La tension est prise entre le troisième rail et la terre, mais la tension pendant l'emploi des résistances peut être supposée proportionnelle au voltage intense total au moment de la suppression des résistances, sans erreur appréciable pour les pertes dans le fer.

Dans la figure 5 on a tracé la courbe des courants en coordonnées polaires, et en planimétrant, on obtient directement la racine carrée du carré moyen.

Les résultats des figures 4 et 5 ont été enregistrés dans le circuit principal de la voiture, et se rapportent, par conséquent, au couplage série-parallèle, tandis qu'il faudrait connaître le courant par moteur ; aussi les figures 4 et 5 ont-elles plutôt pour objet de montrer l'exac-

[1] Dans la figure 3, les pertes dans le fer sont supposées concerner uniquement l'induit ; ce qui n'est pas entièrement exact, mais la répartition véritable des pertes sera pratiquement la même avec un même rapport de pertes dans l'induit et les inducteurs.

titude des appareils enregistreurs et la méthode à suivre.

La figure 6 indique les résultats d'une série d'essais de ce genre, en représentant l'élévation

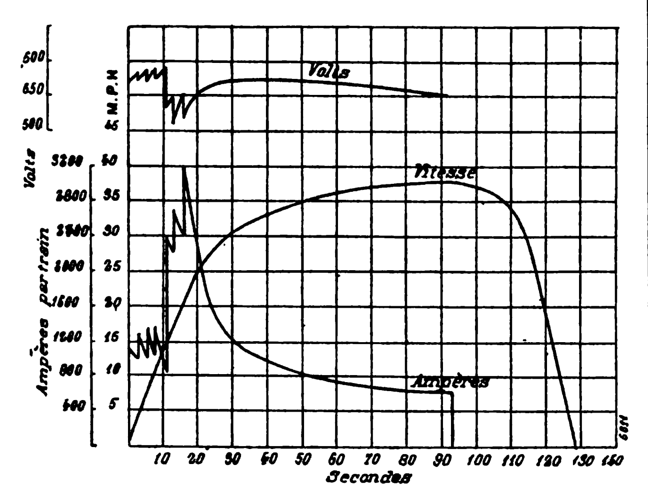


Fig. 4.

de température par watt perdu dans le cuivre inducteur et dans l'induit.

L'auteur applique ensuite les courbes de

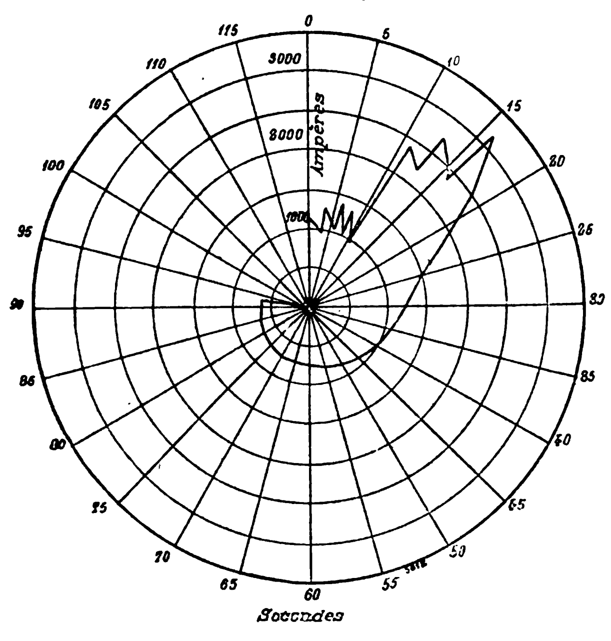


Fig. 5.

pertes de la figure 3 à la voiture de 35 tonnes. En complétant le cycle de la figure 2 par la période d'arrêt étendue à différents parcours, on diminuera l'époque de la suppression du courant; les pertes et leur répartition se déduisent de la figure 3 et l'élévation de température, de la figure 6. Pour chaque horaire on pourra déterminer l'échauffement des inducteurs et de l'induit, pour les poids et la multiplication adoptés pour les trains à trois voitures. On en déduira une courbe telle que celle de la figure 7, l'auteur lui donne le nom de « courbe de capacité de service » du moteur adopté. Elle donne l'échauffement par moteur pour un poids donné de la voiture et la vitesse moyenne du parcours que l'on peut atteindre avec la multiplication adoptée, en fonction du nombre d'arrêts par mille (1 609 m). L'échauffement indiqué est celui de la partie la plus chaude ; la vitesse du parcours comprend les arrêts de 15 secondes chacun. L'accélération est celle qui résulte d'un effort de traction constant de 120 livres par tonne (54,5 kg) pendant la période d'emploi des résistances, le freinage étant effectué aux taux de 150 livres par tonne (66,6 kg); la marche à vide est supposée dans le 1/10 du parcours [1].

La courbe correspondant à 80° C est très remarquable (fig. 7) en ce qu'elle indique un poids constant avec l'équipement adopté, quel que soit le nombre d'arrêts.

L'auteur poursuit cette étude pour des accélérations différentes et des périodes de suppression du courant correspondantes. Il en déduit que vraisemblablement en ce qui concerne l'échauffement, il est préférable d'employer la plus grande multiplication et la plus grande accélération possibles, pourvu que la vitesse

[1] Les courbes de la figure 7 montrent que l'accroissement de l'échauffement est plus rapide que ne l'indiquerait la proportionnalité aux poids des trains ; ce qui est à prévoir, puisque les pertes dans le cuivre croissent comme le carré du courant; mais les courbes de frottement (fig. 1) indiquent un frottement plus élevé par tonne pour les voitures plus légères, de sorte que le courant nécessaire pour déplacer une voiture à la vitesse de 60 milles (96,6 km) à l'heure, serait à peu près le même que pour des voitures à variation de poids considérables ; pour de grands parcours, l'élévation de température serait donc probablement moins marquée. Ce qui le montre, c'est la comparaison des températures dans des trains de 5 et 10 tonnes par moteur, avec peu d'arrêts 1 par 4 milles); ces températures sont 72° et 98° respectivement pour la même vitesse moyenne de 48 milles par heure (77,4 kilom.).

maxima reste faible, mais que, en pratique, on pourra utiliser toutes les accélérations raisonnables pour des vitesses atteignant un maximum de 60 milles à l'heure (96,6 km) [1].

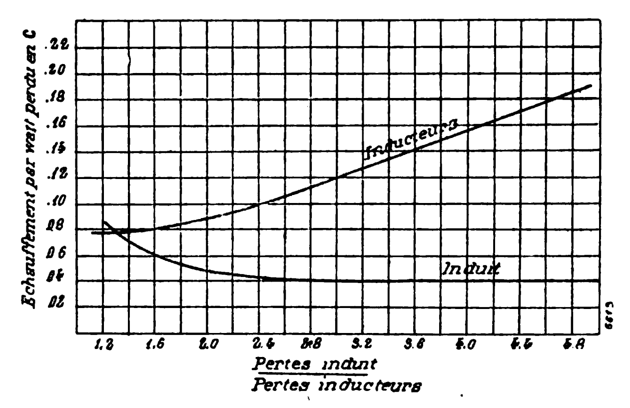


Fig. 6.

L'auteur reprend ensuite son étude pour différentes réductions d'engrenages correspondant à différentes vitesses maxima en palier ; puis, il

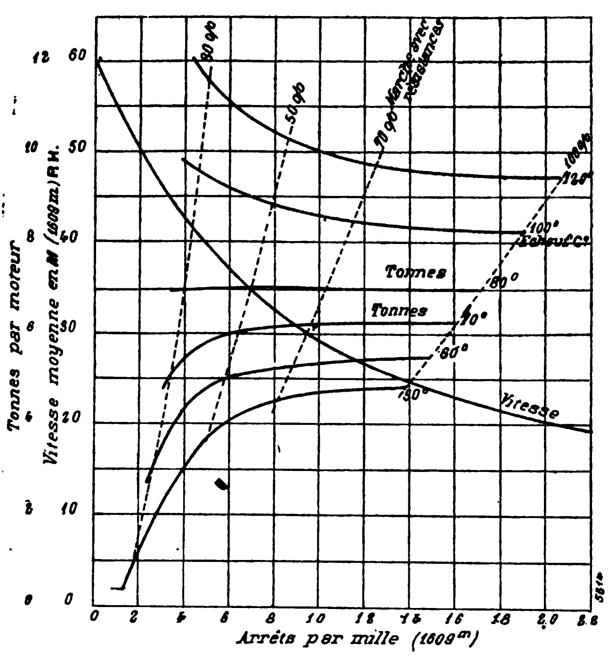


Fig. 7.

examine l'emploi de trains à deux, trois, quatre voitures, etc. La capacité des moteurs est déterminée en grande partie, pour un même échauffement, par la forme des courbes de frottements. Ainsi, pour une vitesse de 96,6 km à l'heure, et un échauffement de 60°, la capacité sera de 5,3 tonnes par moteur, tandis qu'avec deux voitures accouplées, elle sera de 7,5 tonnes par moteur, grâce à la diminution des frottements par l'air, ce qui conduit l'auteur à se demander si la solution du problème de la traction électrique doit comporter de petites unités à de fréquents intervalles, ou si des trains plus lourds et plus espacés ne seraient pas mieux appropriés, dans le but d'éviter un premier établissement exagéré pour moteurs, station et distribution ?

Dans cette discussion, l'auteur a considéré un moteur particulier fonctionnant dans des conditions déterminées. Actuellement, la capacité d'un moteur est généralement fixée d'après le courant qu'il peut supporter à 500 volts, avec un échauffement de 75° C après une heure d'essai sur la plate-forme. Mais cet essai est insuffisant pour faire ressortir l'aptitude du moteur au travail varié qu'il doit pouvoir effectuer dans la traction ; malgré cela, l'auteur n'a pu trouver de méthode d'un usage plus pratique que la méthode actuelle.

Bien que l'étude précédente ne fournisse pas de données suffisantes, pour traiter complètement le problème de la traction électrique, elle renferme cependant des éléments de comparaison intéressants. Ainsi l'auteur en déduit, entre autres, les courbes représentant la relation entre la vitesse moyenne de parcours et les watts-heure par tonne-mille (1,609 tonne-km), bien qu'on ne connaisse aucune formule donnant la résistance aux frottements. Les courbes montrent que, tandis que la durée du trajet augmente avec le nombre d'arrêts et que l'énergie cinétique devient un facteur plus important, la différence en pour cent entre les valeurs de l'énergie pour différentes résistances de frottement devient moindre.

De ces mêmes courbes, il résulte encore que

[1] L'énergie consommée pour les accélérations élevées sera plus faible, mais le coefficient d'utilisation de la distribution sera bien plus défectueuse ; et dans le choix d'une multiplication des engrenages, il faudra tenir compte non seulement de l'échauffement des moteurs, mais encore des fluctuations dans la distribution, du coefficient d'utilisation, et de l'énergie consommée. Il est très possible que l'économie d'énergie réalisée par de fortes accélérations sera compensée par une plus forte dépense de houille, par le fait d'un coefficient d'utilisation plus faible.



des voitures uniques circulant à des intervalles de 30 minutes absorbent 52,5 p. 100 plus d'énergie que des trains à deux voitures et une heure d'intervalle. Pour des trains de 5 voitures, l'énergie est réduite à plus de moitié pour le même horaire.

Mais, il faut ajouter que les voitures uniques tendent à augmenter le trafic et produisent moins de fluctuations dans la production à la station ; la puissance des commutatrices sera moindre ainsi que la section des feeders, à chute de tension égale.

Les conclusions précédentes se rapportent à des vitesses de 60 milles (96,6 km) à l'heure. Pour des vitesses moitié moindres, la résistance de frottement du train entre pour beaucoup moins dans la détermination de la fourniture d'énergie, surtout si le nombre d'arrêts par kilomètre augmente. D'autre part, la période de marche à vide et de ralentissement influe beaucoup sur la valeur de cette énergie.

En résumé, comme la résistance de l'air aux grandes vitesses fait varier la résistance de frottement par tonne, il est possible, comme le fait l'auteur, de tracer une série de courbes d'échauffement et de dépense d'énergie par tonne-kilomètre pour un ensemble de conditions déterminées seulement, et de généraliser les conclusions pour différentes résistances de frottement données. L'échauffement est en pratique voisin de 60°; avec une température extérieure de 30° à 35° en été, il n'est pas possible de s'en rapporter à des méthodes comportant des erreurs de 10° à 20°; c'est pourquoi la marche à suivre indiquée par l'auteur est à préférer dans l'étude de phénomènes qui ne peuvent être exprimés par une formule simple et qui nécessitent un ensemble de courbes générales du genre de celles qu'il a tracées. P.-L. C.

Détermination des caractéristiques d'alternateurs, par **K.-A. Herdt**. *Transactions*, t. XIX, p. 723-751, numéro de mai 1902.

L'auteur de cette communication se propose d'étudier théoriquement et pratiquement les relations entre la force électromotrice et le courant, eu égard à la charge et au facteur de puissance, dans les induits de divers types d'alternateurs ; puis il développe les méthodes indirectes pour obtenir la chute de tension dans une machine particulière et les appliquera à d'autres types.

Réaction et réactance d'induit. — L'auteur considère un alternateur à pôles tel qu'il est représenté figure 1, avec bobine d'excitation unique disposée sur le côté et perpendiculairement à l'arbre.

La force électromotrice à vide est donnée par

$$\varepsilon = (\Phi - \Phi') : \frac{T}{2}$$

Φ, Φ' étant les valeurs extrêmes du flux dans une bobine induite pendant une demi-période.

Si l'induit est le siège d'un courant en retard de $\frac{\pi}{2}$, les forces magnétomotrices de l'inducteur et de l'induit sont en opposition, et auront pour résultante : $(ni - NI\sqrt{2})$ dans la bobine I et $(ni + NI\sqrt{2})$ dans la bobine II, en diminuant

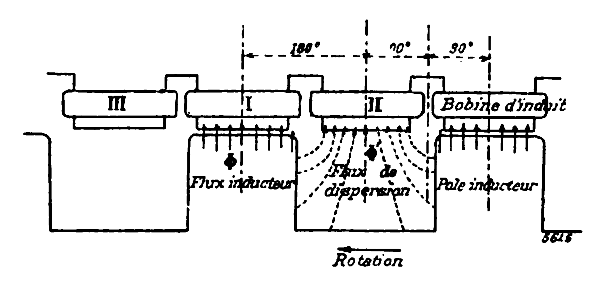


Fig. 1.

d'une part l'induction maxima et en augmentant d'autre part, le flux de dispersion. Cependant les lignes de force engendrées par ce courant en quadrature ne passent pas par le circuit magnétique de la machine qui est perpendiculaire au plan de la figure (fig. 1).

Si le courant induit est en phase, il atteint sa valeur maxima quand les pôles inducteurs occupent la position intermédiaire entre les bobines I et II, et le flux qu'il engendre est simplement normal au flux inducteur dans la pièce polaire ; ce flux renforce l'induction à une extrémité du pôle et la réduit à l'autre, mais l'induction totale n'en est pas sensiblement diminuée, ni la force électromotrice induite.

Entre les deux positions extrêmes ci-dessus, la réluctance au flux induit varie constamment dans une demi-période : cette variation peut avoir une influence considérable dans ce type d'alternateurs, sur la chute de tension et la forme de l'onde alternative.

Essai d'un alternateur à pôles. — L'alternateur expérimenté ici est représenté, avec les dimensions de son circuit magnétique, dans les

figures 2 et 3. L'induit comprend 10 bobines de 75 spires chacune, en parallèle; sa résistance à froid est de 0,04 ohm. La bobine d'excitation unique renferme 1 710 tours ; la puissance normale est de 15,4 kilowatts, la tension de 110 volts et la vitesse de 720 tours par minute.

L'auteur a effectué les essais suivants :

Caractéristique à vide, à 60 périodes.

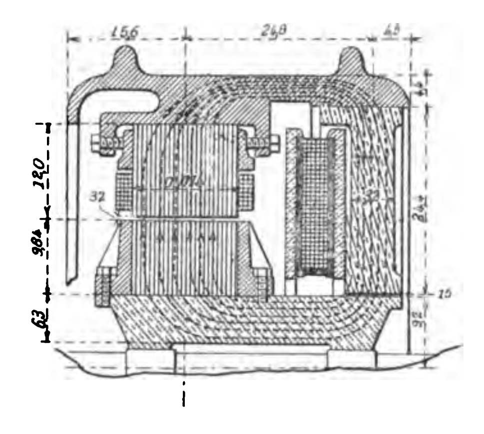
Caractéristique en court-circuit, à 60 périodes.

Caractéristiques à différentes charges et divers facteurs de puissances, avec 3 ampères d'excitation.

Courbes de courant dans diverses conditions.

Courbes de variation de l'induction due au courant induit dans différentes positions de la pièce polaire, avec 3 ampères d'excitation.

De ces courbes, l'auteur déduit les courbes d'impédance, les courbes de la distribution de l'induction à diverses charges, et les courbes qu'il appelle, ondes de force contre-électromotrice.



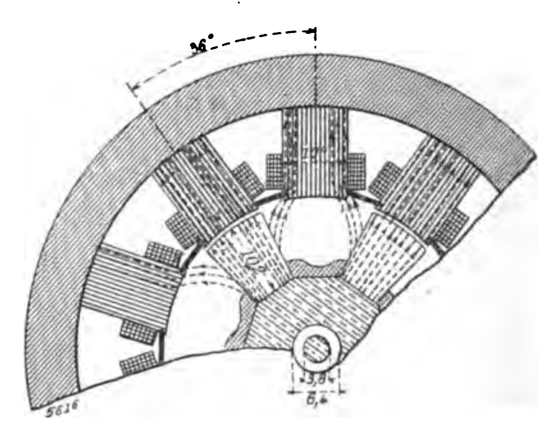


Fig. 2 et 3.

Si ϖ est l'accroissement ou la diminution de l'induction dans la bobine induite pour chaque position des inducteurs à partir de la position correspondant à la valeur zéro du courant, et si l'on divise ϖ par la valeur instantanée du courant et par 10^8, le quotient sera l'inductance totale de la bobine en henrys, et en multipliant par la vitesse angulaire et le nombre de tours de la bobine, on en déduira la valeur instantanée de l'inductance totale. L'auteur a construit ces courbes ; il les a aussi déterminées par l'expérience [1] ; et il trouva des résultats très concordants.

Connaissant la courbe de l'inductance totale de l'induit, la force appelée contre-électromotrice, par l'auteur, c'est-à-dire la force électromotrice qu'il faut ajouter à la force électromotrice réelle, pour obtenir la force électromotrice nominale ou induite à vide, se détermine aisément. Cette force électromotrice de self-induction (Kapp) est

$$e = \frac{1}{10^8} \frac{d(Li)}{dt} = \frac{1}{10^8} \left(L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{dt} \right).$$

Dans les courbes des valeurs instantanées de L et i, $\frac{dL}{dt}$ et $\frac{di}{dt}$ seront les coefficients angulaires des tangentes aux temps t, d'où l'on déduira les valeurs de e et leur courbe, bien que le procédé soit assez fastidieux. L'auteur applique ce procédé à des exemples particuliers ; en additionnant les valeurs de la courbe de force électromotrice réelle et de la courbe de force contre-électromotrice, il trouve une courbe qui, bien que non identique à la caractéristique à vide, en suit la forme générale d'une façon remarquable.

La sinusoïde équivalente de force électromotrice de self-induction est bien en retard de $\frac{\pi}{2}$ sur la sinusoïde équivalente de force électromotrice réelle, comme il est à prévoir. En divisant la valeur efficace de la force électromotrice de self-induction par le courant induit,

[1] Pour cela, une bobine de 75 tours était enroulée autour d'une des bobines de l'induit et reliée à un balistique; l'excitation étant de 3 ampères, on envoie dans l'induit des courants continus dans les différentes positions des inducteurs et l'on observe les élongations à la fermeture ou à l'ouverture des courants précédents ; la constante du balistique étant connue, on en déduit la valeur du flux traversant les bobines d'induit pour différents courants et diverses positions.

l'auteur obtient un coefficient caractérisant l'effet du magnétisme transversal ou l'effet démagnétisant, suivant que le courant est en phase ou en quadrature avec la force électromotrice réelle. Le vecteur représentant la force magnétomotrice de réaction d'induit varie, non seulement en grandeur, mais encore en phase $\left(\text{de } \frac{\pi}{2} \text{ à } \pi\right)$ quand le facteur de puissance du circuit total varie de l'unité à zéro.

Chute de tension. — L'expression « réactance synchrone » a été employée communément pour désigner l'effet combiné de la réaction d'induit et de la dispersion due au magnétisme transversal engendré par le courant induit. Mais l'auteur fait remarquer que cette grandeur ne peut pas être déterminée par une mesure unique, comme on l'admet généralement, mesure qui consiste à faire débiter à la machine le courant normal en court-circuit, avec une excitation faible. Après avoir rappelé les diverses méthodes ordinairement employées et montré leurs défauts, l'auteur préconise une méthode appelée par lui « méthode des deux réactances » et qui s'applique à des alternateurs de types très différents.

L'effet démagnétisant des différents courants en quadrature y est déterminé avec la pleine excitation, et non pas avec l'excitation juste suffisante pour produire le courant normal en court-circuit.

L'induit n'est plus fermé en court-circuit, mais sur une réactance variable de valeur convenable et on note la différence entre la tension de la caractéristique à vide et la différence de potentiel aux bornes, à pleine excitation. Le voltage ainsi obtenu divisé par le courant donne la valeur de la composante démagnétisante de la « réactance synchrone », dans les conditions normales de fonctionnement.

L'effet de magnétisation transversale pour les diverses valeurs du courant en phase est supposé égal à la composante démagnétisante précédente multipliée par le rapport des valeurs que prend l'inductance totale de l'induit. Quand les pôles inducteurs sont placés dans la position médiane entre deux bobines induites, et quand ils sont placés exactement en regard de ces bobines (fig. 1). L'inductance est déterminée en faisant passer un courant alternatif d'une source extérieure par l'induit, dans les deux positions précédentes, à pleine excitation. En portant ces valeurs dans le diagramme de M. Blondel, on obtient la relation entre la force électromotrice et le courant d'un alternateur à pleine charge. Dans la figure 4, E_0 est la force électromotrice

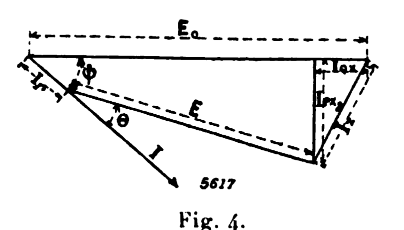


Fig. 4.

induite à vide, et φ le décalage entre le courant et cette force électromotrice; θ le décalage entre le courant et la différence de potentiel aux bornes, X_1 la composante démagnétisante, X_2 la composante du magnétisme transversal ; P, Q le facteur de puissance et le coefficient d'inductance de tout le circuit, Ir, la chute ohmique, E la différence de potentiel aux bornes.

L'auteur reproduit des caractéristiques en charge mesurées directement, et qui concordent avec des écarts de 2 à 3 p. 100 seulement, avec les valeurs calculées par la méthode précédente. Les autres méthodes, entre autres celle de la caractéristique en court-circuit à faible excitation, et celle de la composition des forces magnétomotrices donnent l'une des valeurs beaucoup trop faibles (22 p. 100) et l'autre des valeurs trop fortes (11 p. 100) pour la différence de potentiel aux bornes à pleine charge. Cette concordance entre les résultats de l'expérience et ceux de la méthode des deux réactances s'observe encore pour un débit constant et des facteurs de puissance extérieurs variables.

L'auteur étudie ensuite divers types d'alternateurs. Il donne les courbes d'induction pour des machines à induit denté et enroulement uniformément réparti ; ainsi que les ondes individuelles de chaque bobine d'induit, dont l'onde résultante est, dans le cas particulier, à peu près sinusoïdale, bien que les ondes composantes ne le soient nullement [1].

Les courbes prises par l'auteur sur ces machines montrent une identité remarquable entre la caractéristique en charge, mesurée directement et celle déduite de la méthode « des deux

[1] A ce propos, l'auteur rappelle que si l'on désire qu'une onde sinusoïdale reste telle quand le facteur de puissance et la charge varient, il est nécessaire que

réactances » ; les autres méthodes donnent encore ici lieu à des écarts notables. Il en est de même pour une machine de 10 kilowatts, 220 volts, 60 périodes, biphasée, induit à pôles saillants. P.-L. C.

Réglage de la vitesse des moteurs par la méthode de variation de la réluctance, par **G.-F. Packard.** *Transaction of the Am. Inst. of. El. Eng.*, t. XIX, p. 1517-1529, novembre 1902.

Dans un brevet pris par Edison en 1882, il est question déjà du réglage du champ inducteur au moyen du déplacement d'une pièce reliant les deux parties de la culasse de l'inducteur. Dans un brevet pris trois ans plus tard par P.-H. Diehl, la variation de réluctance du circuit magnétique est obtenue en faisant varier l'entrefer par le déplacement radial des pièces polaires. Pour utiliser ces variations pour le réglage de la vitesse des moteurs, ces méthodes, de même que celle du rhéostat dans le moteur shunt, ont l'inconvénient de ne fournir qu'une variation d'environ 30 p. 100 de la vitesse normale, par suite de la production d'étincelles due à un trop grand affaiblissement du champ et à l'effet démagnétisant de la réaction d'induit sur les extrémités des pièces polaires. L'auteur décrit une disposition brevetée par F.-A. Johnson, dans laquelle cette variation de vitesse est quadruplée pour des moteurs de puissances supérieures à 10 chevaux. Elle consiste à munir les pièces polaires d'une partie mobile sous forme de piston, susceptible d'un mouvement radial. Quand cette partie mobile s'éloigne de l'induit, le flux est obligé de traverser de plus en plus les bords fixes des pièces polaires. L'auteur a mesuré la distribution du flux sous les pièces polaires par la méthode de Mordey, dans les deux positions extrêmes du piston. On a trouvé que, pour une marche sans étincelles à toutes vitesses, il fallait donner aux balais un décalage en avant constant de un segment et quart du collecteur, qui en comportait 46. La réaction d'induit ne modifie pas ces conditions, par suite de la réluctance plus élevée du circuit magnétique de l'induit quand le piston est de plus en plus retiré vers l'extérieur. En ce qui concerne le rendement de ces machines, il ne varie que de 4 p. 100 quand la vitesse passe du minimum au maximum avec une variation de 125 p. 100. La puissance restant d'ailleurs constante, le couple varie naturellement en raison inverse de la vitesse.

Pour tous les cas où ces variations de vitesse suffisent, cette disposition est évidemment beaucoup plus simple que toutes les autres connues. L'induction dans l'entrefer n'est pas plus élevée, ni la réaction d'induit moindre que dans les types courants, le poids ni le coût n'en sont donc pas plus élevés. Dans ces moteurs, les vitesses minima ont été choisies un peu plus faibles cependant que dans les types courants, pour ne pas atteindre des vitesses périphériques anormales quand la vitesse du moteur est de 150 p. 100 supérieure à la vitesse normale.

l'enroulement soit très divisé et que la distribution du magnétisme soit telle que les ondes composantes soient elles-mêmes sinusoïdales.

Discussion des communications **Baum** [1] et **Mailloux** [2]. *Transactions of the Am. Inst. of El. Eng.*, t. XIX, p. 1139-1148).

Au sujet du compensateur de M. Baum, M. Perrine lit une lettre où M. Baum relate quelques résultats obtenus par cet appareil, à Stockton, sur des moteurs synchrones de 15, 20, 25 et 75 chevaux, que l'on put faire démarrer sur une génératrice de 100 kilowatts, possédant une réaction d'induit d'environ 20 p. 100 à pleine charge. M. Baum put même faire démarrer le moteur de 75 chevaux avec une génératrice de 50 kilowatts. Le compensateur était entraîné par un engrenage monté sur l'arbre, mais un moteur synchrone est préférable ; un moteur de 1,25 cheval suffit pour une station de 2000 kilowatts. Dans le démarrage du moteur de 20 chevaux, on a une chute de tension de moins de 2 p. 100, durant à peine deux secondes. Avec le moteur de 75 chevaux, le voltage tombe de 116 à 95 volts pendant deux secondes et remonte aussitôt ; sans compensateur, il tombe à 85 volts et se maintient au-dessous de 100 jusqu'à ce que l'on manœuvre le rhéostat, ce qui est inutile avec le compensateur. M. Perrine rappelle que l'on se débarrasse des étincelles, ou plutôt qu'on les réduit au minimum, en se servant du compensateur pour exciter une excitatrice auxiliaire ; le courant peut être ainsi réduit à moins d'un ampère dans le compensateur.

A une question de M. Potter, s'informant si, dans les expériences de M. Mailloux, il n'était pas possible d'obtenir le synchronisme des alter-

(1) Voir *Écl. Élect.*, t. XXXIII, p. 450, 27 décembre 1902.

(2) Voir *Écl. Élect.* t. XXXIII, p. 320, 29 novembre 1902.



nateurs diphasés au moyen des moteurs à vapeur, au lieu de se servir de la ligne triphasée, M. Mailloux répond que le synchronisme pouvait, en effet, être obtenu, mais non maintenu assez longtemps pour démarrer la commutatrice, et que, pour cette opération, l'emploi de la ligne triphasée était plus commode qu'aucun autre moyen. M. Mailloux espère d'ailleurs que lorsque la batterie d'accumulateurs sera installée, il sera possible non seulement d'exciter la commutatrice, mais aussi de la faire démarrer par ce moyen et de s'en servir comme régulateur entre les phases.

M. Murphy dit que les conditions des expériences de M. Mailloux se retrouvent à Ottawa, sauf que la commutatrice et les génératrices étaient diphasées, et la ligne à quatre conducteurs de 2200 volts. A maintes reprises, la commutatrice fut actionnée par des génératrices monophasées, après démarrage et mise en phase au moyen du courant d'une batterie.

***Discussion des communications* Potter, Arnold** (¹) et **Mailloux** (²).

Au début de la séance, M. Perrine signale le règlement proposé par les Compagnies d'assurance, d'après lequel les lignes de transmission, au-dessus de 3500 volts, devraient être éloignées de plus de 75 pieds (22,50 m) de toute construction ; ce règlement serait naturellement fatal aux grands transports d'énergie américains et l'étude de la question est renvoyée à une commission de l'Institut. Au sujet de l'étude de M. Arnold sur l'équipement électrique de la ligne de « Mott Haven » au « Grand Central Depot », M. Sprague félicite l'auteur de s'en être tenu strictement à l'étude de ce cas spécial et de ne pas généraliser ses conclusions.

M. Arnold a conclu, entre autres, que l'équipement ne rendrait pas l'exploitation plus économique, le trafic restant le même ; mais il n'est pas prouvé que si la traversée du tunnel de Mott Haven peut se faire, comme cela est certain, dans des conditions meilleures de sécurité, d'hygiène et de confort, au moyen de l'électricité, le trafic ne s'en accroîtra pas sensiblement.

M. Pearson, et après lui M. O. Smith, estiment que le service suburbain constitue, au point de vue électrique, un problème tout différent de celui des chemins de fer à grande distance et à grandes vitesses. Le dernier orateur est d'avis que, même actuellement, le seul obstacle à la réalisation des vitesses de 200 à 300 kilomètres réside dans les conditions de la voie, ce qui fait de l'équipement électrique une question financière avant tout. L'orateur voudrait enfin que l'on fasse des essais entre Philadelphie et New-York, les deux grandes villes les plus rapprochées du monde, et où le trafic est énorme.

M. Steinmetz pense rendre compte de la complexité du problème en rappelant que dans le déplacement d'un train d'un point à un autre, la notion du temps introduit la vitesse, c'est-à-dire la dérivée de la fonction distance-temps ; comme la vitesse ne peut être uniforme, il faut introduire l'accélération, dérivée seconde de cette fonction ; l'accélération elle-même ne pouvant être constante, à cause du désagrément pour les voyageurs avec grandes accélérations. C'est la dérivée troisième qui s'introduit.

M. Ward Leonard informe l'assemblée que la maison Oerlikon construit une locomotive exactement semblable à celle qu'il proposait, il y a dix ans, pour les trains rapides à grandes distances. Cette locomotive sera alimentée par une ligne à 15000 volts monophasés, avec environ 120 km entre les stations génératrices. Le courant monophasé sera transformé sur la machine en courant continu par un moteur-génératrice. La locomotive pourra développer 700 chevaux, avec un effort de traction disponible de 4500 kg environ ; son poids sera de 44 tonnes. Le rendement de la locomotive est estimé à 75 p. 100 et le coût de la ligne électrique à environ 18750 fr le kilomètre. Les principaux avantages du système sont qu'il n'y a pas de résistances perdues et que les circuits ne s'ouvrent pas sur des courants intenses. La génératrice et les moteurs de la voiture ont une excitation séparée, et l'on obtient les variations de vitesse en réglant l'excitation et le voltage de la génératrice. La récupération d'énergie au freinage est parfaite ; elle peut s'effectuer à toutes vitesses.

***Discussion des communications* Skinner** (¹) et **Thomas** (²).

M. E.-L. Nichols a constaté lui aussi l'échauf-

(¹) Voir *Écl. Élect.* t. XXXIII, p. 99 et 100, 18 octobre 1902 ; p. 322 et 323, 29 novembre 1902.

(²) Voir ce numéro, p. 249.

(¹) Voir *Écl. Élect.* t. XXXIII, p. 98, 18 octobre 1902.

(²) Voir *Écl. Élect.* t. XXXIII, p. 457, 27 décembre 1902.



fement considérable du diélectrique quand on approche de la rupture, même avec le caoutchouc et le verre, et ses expériences lui font croire que la rupture, même avec une tension électrostatique continue (non alternative), est à attribuer à la chaleur ; il semble y avoir une rupture mécanique due à l'échauffement local exagéré et, dans aucun cas, à l'effet mécanique des forces électrostatiques directes.

M. Skinner, répondant à une question, estime que ses conclusions sont en tout point applicables aux câbles souterrains.

M. Andrews, dans un autre ordre d'idées, signale l'influence de l'huile sur la tension de rupture du mica ; dans les essais qu'il a effectués, une feuille de mica, qui résistait indéfiniment à 10000 volts dans l'air, était traversée instantanément à 4000 ou 5000 volts dans l'huile ; même, pour une feuille de mica pincée entre une plaque et une tige de laiton arrondie, il suffit d'une goutte d'huile entre le mica et l'extrémité arrondie de la tige pour abaisser considérablement la résistance à la rupture diélectrique. Il est assez curieux que cet effet ne se constate pas avec les isolants tels que le papier imprégné d'huile de lin cuite, de vernis copal, etc.

Dr Perrine, au sujet de l'étude de M. Thomas sur les parafoudres, fait remarquer que, d'après l'auteur, la résistance du shunt, additionnée des spires en série, doit être de l'ordre de la résistance du circuit. Dans le cas des lignes très longues, cette résistance devra être assez élevée ; en outre, si l'on place l'appareil de M. Thomas à l'extrémité d'une longue ligne ou d'un câble à forte capacité, comme la fréquence des oscillations dans l'arc dans le parafoudre peut être beaucoup plus élevée que la fréquence normale, il peut y avoir résonance et les résistances shunt et série du parafoudre ne plus convenir pour arrêter l'arc à cette fréquence.

En ce qui concerne la communication de M. Skinner, l'orateur est convaincu que l'influence de traces d'humidité dans l'isolant des câbles, sur leur rupture diélectrique, et le fait que la perte d'énergie y est supérieure à celle qui correspond à l'effet Joule, tiennent à des phénomènes de conduction électrolytique [1].

Dans toutes les occasions où l'orateur a constaté une élévation de température anormale de l'isolation, on pouvait l'attribuer à la présence de l'humidité. Cependant, on observe également [1] des ruptures prématurées avec les substances fibreuses insuffisamment imprégnées et des isolants en caoutchouc où ce dernier présente des vides sans qu'il y ait trace d'humidité.

Pour les câbles dont l'épaisseur d'isolation avec des substances fibreuses est très forte, il devient aussi plus difficile de chasser l'humidité au four sans que la chaleur nécessaire à cette opération n'ait une action destructive sur les couches extérieures ; d'autre part, l'imprégnation devient plus difficile et moins profonde avec les grandes épaisseurs.

M. Woodworth a constaté qu'il suffisait d'une proportion de 0,09 p. 100 d'eau dans l'huile où l'on place un transformateur pour diminuer dans la proportion de 8 à 1 la résistance à la rupture diélectrique.

Dans cette même séance s'engage une longue et intéressante discussion sur l'éducation technique de l'ingénieur-électricien en Amérique.

Les ingénieurs américains sont à peu près unanimes à reconnaître que ce qui leur manque, c'est ce fonds de culture classique, voire même littéraire, par lequel devrait commencer toute éducation ; lui seul peut former l'esprit à cette largeur d'idées indispensable à toute profession libérale, et à cette clarté de l'expression que l'on acquiert au frottement des études classiques, et particulièrement des langues mortes.

P.-L. C.

[1] Ainsi un câble chargé au moyen d'une tension constante élevée, reste pendant un certain temps une source de force contre-électromotrice appréciable. — C'est là un fait bien connu, que l'on a même expliqué par le mot de « pénétration des charges », mais rien ne prouve qu'il y ait là une électrolyse, et le fait semble assez peu probable pour les substances organiques inertes avec lesquelles sont constitués les isolants courants des câbles (N. d. T.).

[1] Avec des câbles parfaitement secs, M. Newbury, l'électricien de la maison Roeblings, a trouvé que, pour les isolants fibreux, la résistance à la rupture diélectrique n'augmente avec l'épaisseur que jusqu'à une certaine limite au delà de laquelle le câble est percé quelle que soit l'épaisseur. L'imprégnation laisse, en effet, entre les fibres des espaces vides ou renfermant des gaz plus ou moins raréfiés par condensation ou refroidissement et ces espaces jouent le rôle de conducteurs.

Le Gérant : C. NAUD.



L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

ESSAIS DES ALTERNATEURS

Les méthodes indiquées par MM. Behn-Eschenburg et Rothert, permettent de déterminer les conditions de fonctionnement d'un alternateur, quand on en connaît les caractéristiques à vide et en court-circuit, mais on sait que ces méthodes donnent souvent des résultats très erronés.

Dans la méthode Behn-Eschenburg, on admet que la différence entre la force électromotrice obtenue à vide et la différence de potentiel en charge pour une intensité donnée d'excitation est uniquement due à la self induction, tandis que dans la méthode Rothert on suppose que la réaction d'armature intervient seule.

La différence est due simultanément aux deux causes (1) et connaissant les caractéristiques à vide et en court-circuit, ainsi que les conditions de fonctionnement à une charge donnée, on peut déterminer l'influence de la self induction et celle de la réaction d'armature.

La self induction donne naissance à une force électromotrice en quadrature avec le courant; si on connaît le coefficient de self induction et la résistance de l'induit, on peut déterminer la force électromotrice comme l'indique la figure 1.

Si I est l'intensité du courant, r_a I la chute de tension due à la résistance, L le coefficient de self induction, ω la pulsation du courant, φ l'angle de décalage du courant et de la différence de potentiel aux bornes, on prend OA $\neq u$ (2), on fait l'angle BAC $= \varphi$; on

(1) Voir à ce sujet les études de MM. Blondel et Potier, *Écl. Élect.*, t. XIV, p. 133; t. XIX, p. 241 et t. XXI, p. 192 et de M. Picou dans le *Bulletin de la Société Internationale des Electriciens* de juin 1902 ainsi que l'article de M. Guilbert, *Écl. Élect.*, t. XXXIII, p. 109, 25 octobre 1902.

(2) Le signe $\neq$ signifie proportionnel à.

prend AB $\neq r_a$ I; puis on mène la perpendiculaire BD à AB et prend BD $\neq \omega LI = \lambda I$; la force électromotrice E est représentée par OD.

La réaction d'armature provoque une diminution du champ d'excitation, c'est-à-dire une diminution des ampères-tours. Les ampères-tours démagnétisants sont proportionnels à I, et au sinus de l'angle de décalage ψ entre le courant et la force électromotrice. Si i est l'intensité du courant nécessaire pour obtenir à vide la force électromotrice E, l'intensité nécessaire pour obtenir la même force électromotrice en charge sera $i_1 = i + \alpha I \sin \psi$, α étant un coefficient que l'on peut pratiquement considérer comme constant pour un alternateur donné; ψ est positif ou négatif, suivant que le courant est décalé en arrière ou en avant de la force électromotrice.

ψ est l'angle de AB avec OD. La construction pour déterminer i_1, connaissant i et α, est la suivante (fig. 1). On porte à une échelle déterminée OE $\neq i$, i étant l'intensité d'excitation correspondant à vide à la force électromotrice représentée par OD, on mène EF parallèle à AD et prend EF $\neq \alpha$I, on abaisse ensuite de F la perpendiculaire FG sur OD; on a EG $\neq \alpha I \sin \psi$ et OG représente à l'échelle choisie la valeur cherchée i_1 du courant d'excitation.

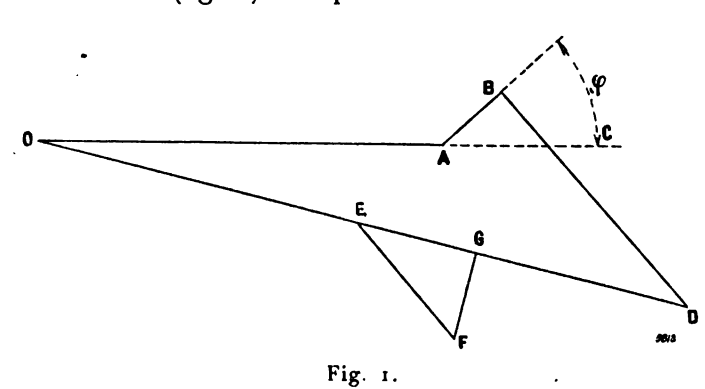


Fig. 1.

Si on trace la caractéristique à vide et la caractéristique en court-circuit, et si on connaît l'intensité du courant d'excitation pour une charge donnée, on peut déterminer par approximations successives les valeurs de λ et de α, de sorte que l'on peut ensuite trouver l'intensité nécessaire pour l'excitation à une charge quelconque.

Pour que la détermination de λ et de α puisse se faire avec précision, il faut que la charge, pour laquelle on détermine l'intensité d'excitation, soit très inductive, c'est-à-dire que cos φ soit très faible, et que l'intensité d'excitation dépasse celle correspondant au coude de la caractéristique à vide, parce que dans la composante wattée du diagramme (fig. 1) on ne fait intervenir que la résistance ohmique de l'induit, tandis que la réaction due aux courants de Foucault, dont on ne peut tenir compte, augmente cette composante. L'influence de cette composante est d'autant moins grande que φ est plus grand ou cos φ plus faible; à la limite, pour $\varphi = \frac{\pi}{2}$, elle est perpendiculaire à la force électromotrice et son influence peut être négligée.

Du reste, dans les essais préliminaires, qui peuvent se faire avec l'alternateur monté sur des paliers provisoires, on a tout intérêt à avoir une charge très inductive, car à tension et intensité égales, on a une puissance beaucoup moindre à développer. On pourra faire l'essai en employant des bobines à réaction, ou des transformateurs et des moteurs asynchrones fonctionnant à vide.

Dans la partie en ligne droite de la caractéristique à vide, si E est la force électromotrice et i l'intensité du courant d'excitation, on a :

$$E = fi,$$

f étant un coefficient facile à déterminer au moyen de la caractéristique.

Si I est l'intensité du courant du court-circuit, on a

$$I = Ki,$$



K étant une constante que la caractéristique permet de déterminer. En court-circuit, on peut négliger la composante wattée, qui est presque en quadrature avec la force électromotrice et si E est la force électromotrice, comme la tension aux bornes est nulle, on a :

$$E = \lambda I.$$

Si i est l'intensité du courant d'excitation, comme $\psi = \frac{\pi}{2}$, la réaction d'induit entraîne

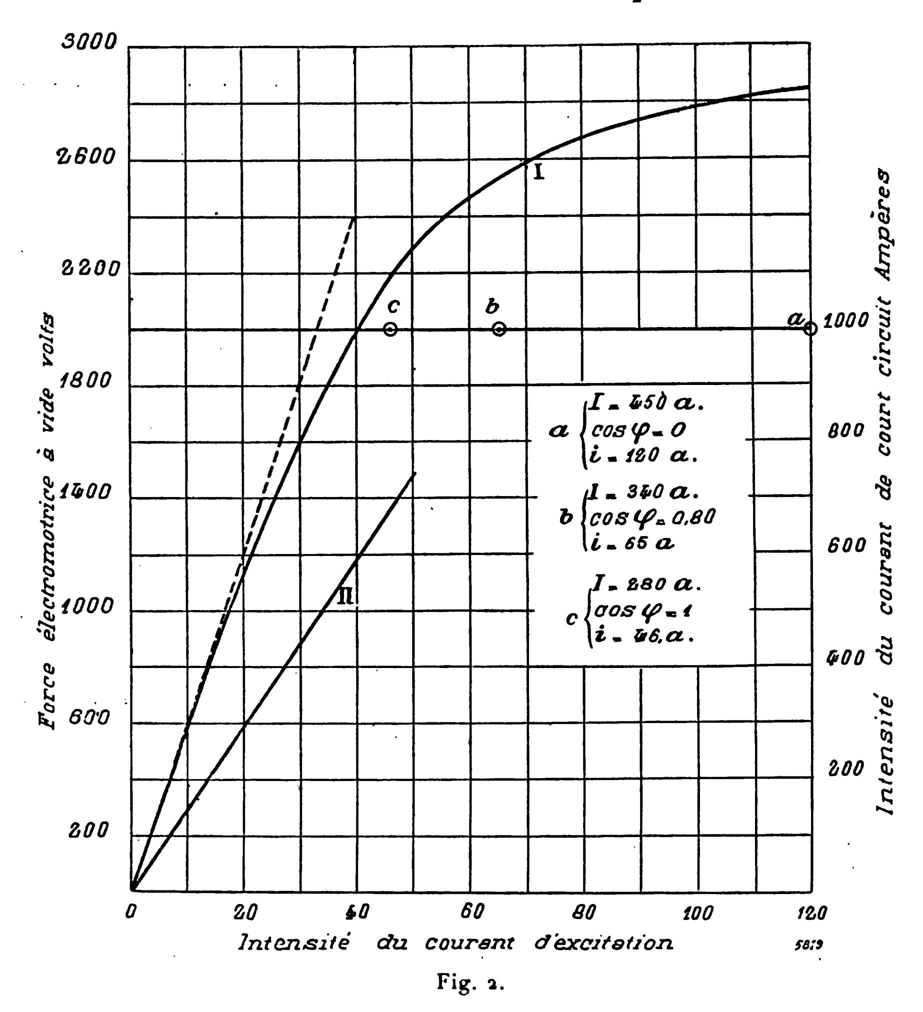


Fig. 2.

une diminution d'intensité égale à αI, de sorte que l'intensité correspondant à la force électromotrice est $i - \alpha I$, on aura donc :

$$f(i - \alpha I) = E = \lambda I,$$

ou en remplaçant i par $\frac{I}{K}$:

$$f\left(\frac{I}{K} - \alpha I\right) = \lambda I \qquad \lambda I + f\alpha I = \frac{fI}{K}. \qquad (1)$$

On a donc une première relation entre λ et α, ou entre λI et αI.

Pour trouver les valeurs de α et de λ, il faut considérer deux cas : 1° on a, pour la charge pour laquelle on connaît l'intensité d'excitation, $\cos \varphi = 0$; 2° on a $\cos \varphi > 0$.

1er *cas*. On a $\cos\varphi = 0$.

Soient i_1, l'intensité du courant d'excitation, I l'intensité du courant d'induit et U la différence de potentiel aux bornes.

On peut encore négliger la composante wattée, et si E est la force électromotrice, on a :

$$E = U + \lambda I.$$

D'autre part on a :

$$f'(i_1 - \alpha I) = E$$

Mais comme on n'est plus dans la portion en ligne droite de la caractéristique à vide, f' n'est plus une constante.

On procédera par approximations successives de la manière suivante :

On cherchera sur la caractéristique à vide, la force électromotrice E′ correspondant à i_1, et prendra $\lambda' I = E' - U$. On portera cette valeur de $\lambda' I$ dans l'équation et on en tirera la valeur correspondante $\alpha' I$, $\lambda' I$ correspondra à $i' = i_1 + \alpha' I$. On prendra une intensité d'excitation, un peu inférieure à i_1, i_1'' par exemple, on déterminera sur la caractéristique à vide la force électromotrice correspondante E″, on aura $\lambda'' I = E'' - U$ et l'équation 1 donnera $\alpha'' I$. $\lambda'' I$ correspondra à $i'' = i_1'' + \alpha'' I$. On prendra encore une valeur moindre i_1''', déterminera comme il a été indiqué $\lambda''' I$ et $\alpha''' I$ et on aura $\lambda''' I$ correspondant à $i''' = i_1''' + \alpha''' I$.

On procédera ainsi de manière à arriver à des valeurs de i_n, inférieures à i_1.

On prendra ensuite comme abcisses les diverses valeurs de i, i'', i''', etc., et comme ordonnées les valeurs correspondantes, $\lambda' I$, $\lambda'' I$, $\lambda''' I$ et on réunira les points par une courbe. (Fig. 3).

Fig. 3.

L'ordonnée de cette courbe correspondant à i_1 donnera la valeur de λI, et on vérifiera si on a bien

$$f(i_1 - \alpha I) = U + \lambda I.$$

M. Wagner a donné dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift* du 22 juillet 1900, les résultats des essais d'un alternateur de la société des ateliers d'Oerlikon. La figure 2 donne en I la caractéristique à vide et en II la caractéristique en court-circuit de cet alternateur ; on connaît les intensités d'excitation pour 3 charges différentes à la tension de 2 000 volts aux bornes.

Pour le point *a*, on a :

$i_1 = 120$ ampères. $\quad I = 450$ ampères. $\quad \cos\varphi = 0$

Pour le point *b*, on a :

$i_1 = 65$ — $\quad I = 340$ — $\quad \cos\varphi = 0{,}80$

Pour le point *c*, on a :

$i_1 = 46$ — $\quad I = 280$ — $\quad \cos\varphi = 1{,}00$



En prolongeant la partie en ligne droite de la caractéristique à vide, on a pour $i = 40$ ampères, $E = 2400$ volts, d'où $f = \frac{2400}{40} = 60$. Pour la caractéristique en court-circuit, on a : pour $i = 40$ ampères, $I = 600$ ampères ; on a donc $K = \frac{600}{40} = 15$. Pour $I = 450$ ampères, l'équation 1 donne :

$$\alpha I = \frac{I}{K} - \frac{\lambda I}{f} = \frac{450}{15} - \frac{\lambda I}{60} = \frac{1\,800 - \lambda I}{60} \qquad (2)$$

à $i_1 = 120$ ampères correspond sur la caractéristique à vide $E' = 2850$ volts.

On a :

$$\lambda' I = 2\,850 - 2\,000 = 850.$$

l'équation 2 donne :

$$\alpha' I = \frac{1\,800 - 850}{60} = 15{,}83.$$

à $\lambda' I = 850$ correspond donc $i' = i_1 + \alpha' I = 120 + 15{,}83 = 135{,}83$.

La caractéristique à vide donne pour $i_1'' = 110$, $E'' = 2820$ volts.

On a donc :

$$\lambda'' I = 2\,820 - 2\,000 = 820 \qquad \alpha'' I = \frac{1\,800 - 820}{60} = 16{,}33 \qquad i'' = i_1'' + \alpha'' I = 110 + 16{,}33 = 126{,}33$$

Pour

$$i_1''' = 100, \text{ on a : } E''' = 2\,780$$

$$\lambda''' I = 2\,780 - 2\,000 = 780$$

$$\alpha''' I = \frac{1\,800 - 780}{60} = 17{,}00. \qquad i''' = i_1''' + \alpha''' I = 100{,}00 + 17{,}00 = 117{,}00$$

La courbe de la figure 3 représente les valeurs de λI en fonction de i; on voit que pour $i = 120$, on a $\lambda I = 792$.

$$\alpha I = \frac{1\,800 - 792}{60} = 16{,}80.$$

Comme vérification, pour $i = i_1 - \alpha I = 120 - 16{,}80 = 103{,}20$, on a sur la caractéristique à vide $E - U = 790$ environ.

On peut donc admettre les valeurs trouvées pour αI et λI.

On a donc :

$$\alpha = \frac{16{,}80}{450} = 0{,}0373$$

$$\lambda = \frac{792}{450} = 1{,}76.$$

Comme vérification, on peut chercher quelles sont les intensités d'excitation correspondant aux charges des points b et c.

Pour le point b, on a :

$$I = 340. \quad \cos\varphi = 0{,}80 \quad U = 2\,000.$$

$$\alpha I = 12{,}682. \qquad \lambda I = 598{,}4.$$

La résistance d'une phase étant de 0, 065 ohm, la chute de tension due à cette résistance sera

$$e = \frac{0{,}065 \times 340}{1{,}732} = 12{,}76 \text{ volts.}$$



La figure 4 donne le calcul graphique de l'intensité du courant d'excitation.

On a :

$$OA \neq 2\,000 \qquad AB \neq 12{,}76 \qquad \cos BAC = 0{,}80.$$

$$BD \neq 598{,}4 \qquad \text{la f. c. m. est} \qquad OD \neq 2\,410.$$

Fig. 4.

L'intensité correspondante à vide est 56,5 ampères, $OE \neq 56{,}5$, $EF \neq 12{,}682$, on a $OG \neq 66$ ampères au lieu de 65; on voit donc que l'erreur n'atteint pas 2 p. 100.

Pour le point *c* on a :

$$I = 280 \qquad \cos\varphi = 1{,}00 \qquad V = 2\,000.$$

$$\alpha I = 10{,}444 \qquad \lambda I = 492{,}80.$$

$$e = \frac{0{,}065 \times 280}{1{,}732} = 10{,}51.$$

La figure 5 donne la détermination graphique de l'intensité du courant d'excitation, on a :

$$OA \neq 2\,000 \qquad AB \neq 10{,}51 \qquad BD \neq 492{,}80.$$

$OD \neq 2080$, l'intensité d'excitation correspondante à vide est de 42,5 ampères.

$$DE \neq 42{,}5 \qquad EF \neq 10{,}444.$$

On a : $OG \neq 45{,}5$ au lieu de 46 ampères trouvés directement, l'erreur est donc de 1 p. 100 environ.

2e *cas*. Pour la charge inductive donnée on a $\cos\varphi > 0$.

On a comme données U, I, $\cos\varphi$ et i.

On détermine la valeur de la chute ohmique ($r_a I$); on prend $OA \neq U$, $BAC = \varphi$, et on mène BD perpendiculaire à AB. (Fig. 6), on cherche sur la caractéristique à vide, la force électromotrice E correspondant à l'excitation i; de O comme centre avec un rayon $OD \neq E$, on trace un cercle qui coupe BD en D.

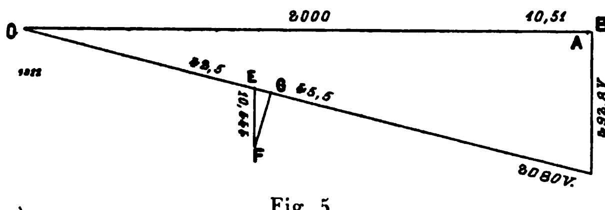


Fig. 5.

On a $\lambda I \neq BD$, de l'équation 1 on tire la valeur correspondante αI, on trace de O comme centre un cercle MN de rayon proportionnel i et du point E, où ce cercle coupe la droite OD, on mène une parallèle à BD, on prend $EF \neq \alpha I$ (à l'échelle des intensités) et abaisse la perpendiculaire FG, du point F sur OD.

On prend ensuite un point D′ entre O et D, et on a $\lambda' I = BD'$, on mesure OD′ et cherche sur la caractéristique à vide l'intensité d'excitation i' correspondant à cette force électromotrice. On prend sur OD′ $OE' \neq i'$, mène par E′ une parallèle à BD, et prend $E'F' \neq \alpha' I$, $\alpha' I$ étant donné en remplaçant λI par $\lambda' I$ dans l'équation 1 ; de F′ on abaisse la



perpendiculaire F'G' sur OD'. On prend ensuite un point D'' sur BD, entre D' et O, et procède de même pour la détermination du point G''.

On a ainsi une série de points G, G', G'' etc., que l'on réunit par une courbe, on joint

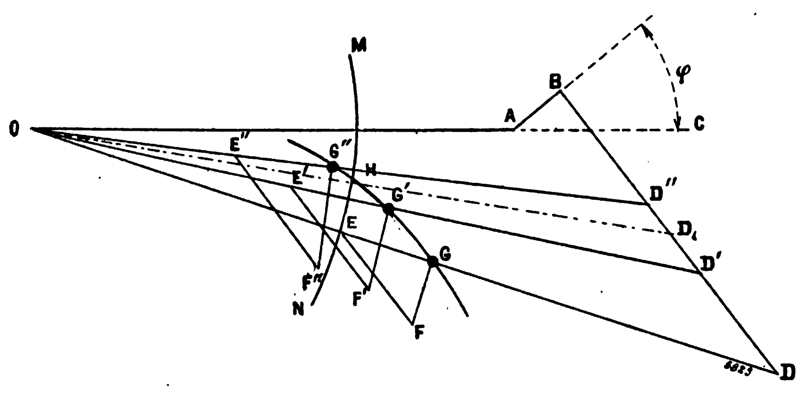


Fig. 6.

le point H où cette courbe coupe le cercle MN, à O, et on prolonge cette ligne jusqu'à sa rencontre en D, avec la ligne BD; BD, représente la valeur cherchée de λI et αI se déduit de l'équation 1. On vérifie si les valeurs trouvées sont bien exactes, en procédant à la construction pour la détermination de i.

La figure 7 donne la construction, pour l'alternateur indiqué ci-dessus, en supposant comme donnée la charge correspondant au point b.

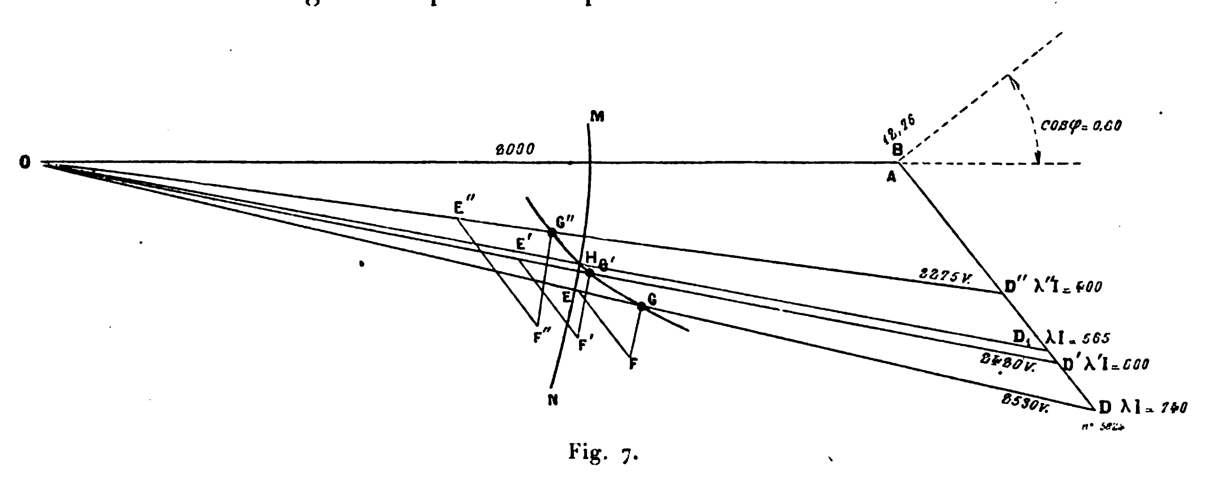


Fig. 7.

A $i = 65$ ampères, sur la caractéristique à vide correspond une force électromotrice de 2 500 volts, on prend OD $\neq$ 2 530 et on a $\lambda I = AD \neq 740$ volts.

L'équation

$$\alpha I = \frac{I}{K} - \frac{\lambda I}{f} = \frac{1360 - \lambda I}{60}$$

donne $\alpha I = 10{,}33$. On trace le cercle MN ayant un rayon proportionnel à 65 ampères, et prend EF $\neq$ 10,33.

Pour le point D' on a $\lambda' I = 600$, $E' = 2\,420$, ce qui correspond sur la caractéristique à vide à une excitation de 57 ampères, on prend OE' $\neq$ 57 et $E'F' = \alpha' I = \frac{1360 - 600}{60} = 12{,}67$.

Pour le point D″, on a $\lambda'' I = 400$.

$$E'' = 2275 \text{ volts.} \qquad i'' = 49{,}5 \text{ ampères.}$$

$$\alpha'' I = \frac{1360 - 400}{60} = 16{,}00.$$

La courbe reliant les points GG′G″, coupe le cercle MN en H et on a $OD_1 \neq 565$ volts $= \lambda I$, l'équation 1 donne $\alpha I = 13{,}25$.

On a donc, comme $I = 340$, $\lambda = 1{,}662$, $\alpha = 0{,}039$, valeurs différentes de celles trouvées pour la charge avec $\cos \varphi = 0$. La différence provient de ce que la charge pour le point *b*, n'est pas suffisamment inductive.

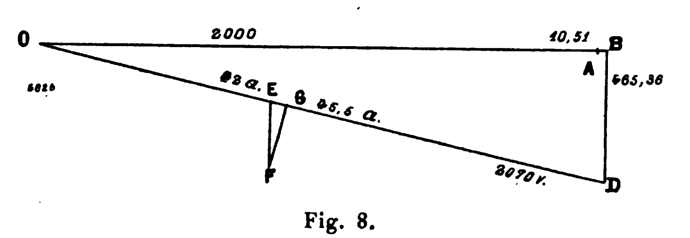


Fig. 8.

Avec ces données pour

$$U = 2000 \qquad I = 450 \qquad \cos \varphi = 0.$$

On aurait

$$\lambda I = 747{,}90 \qquad \alpha I = 17{,}35.$$
$$E = V + \lambda I = 2747{,}90 \text{ volts.}$$

La caractéristique à vide donne $i' = 93$, on aura donc $i = 93 + 17{,}35 = 110{,}35$, au lieu de 120, c'est-à-dire que l'erreur atteint près de 10 p. 100.

Si on cherche l'intensité correspondant à la charge du point *c*, $I = 280$ ampères, $\cos \varphi = 1$, $i = 46$ ampères, on a :

$$\lambda I = 1{,}662 \times 280 = 465{,}36.$$
$$\alpha I = 0{,}039 \times 280 = 10{,}92.$$

La figure 8 donne la construction, on a $E = 2070$ volts, la caractéristique à vide donne pour cette valeur de E, $i = 42$, on trouve $OG \neq 45{,}5$ au lieu de 46, l'erreur est de 1 p. 100 environ.

La méthode donne des résultats suffisamment exacts toutes les fois que la charge pour laquelle on a procédé à la mesure a un $\cos \varphi$ inférieur à celui de la charge pour laquelle on veut calculer l'intensité d'excitation. On a du reste tout intérêt à prendre lors de l'essai la charge aussi inductive que possible, afin de pouvoir opérer avec une puissance relativement faible.

F. Loppé.

COMPTEUR POUR LA MESURE EXACTE DE L'ÉNERGIE

DANS LES INSTALLATIONS TRIPHASÉES ASYMÉTRIQUEMENT CHARGÉES [1]

Dans un système triphasé *a b c* asymétriquement chargé (fig, 1), la mesure de l'énergie se fait en employant la *méthode des deux compteurs*, qui consiste à insérer dans deux des conducteurs du système, par exemple en *a* et *b*, les deux bobines de fil gros ou ampèremétriques S'_A et S''_A des deux appareils, et respectivement entre le conducteur *a* et le troisième conducteur *c*, et entre les conducteurs *b* et *c*, les bobines de fil fin ou voltmétriques S'_V et S''_V des dits appareils.

[1] Communication faite à la Société des Électriciens du 3 décembre 1902 (voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXXIII, p. 385, 13 déc. 1902.



Dans ces conditions, si le courant I′ en *a* est en retard de phase par rapport au courant I″ en *b* (fig. 2), la différence de potentiel V′ entre *c* et *d* est en avance de phase de 30° par rapport à I′, tandis que la différence de potentiel V″ entre *c* et *b* est en retard de phase de 30° par rapport à I″.

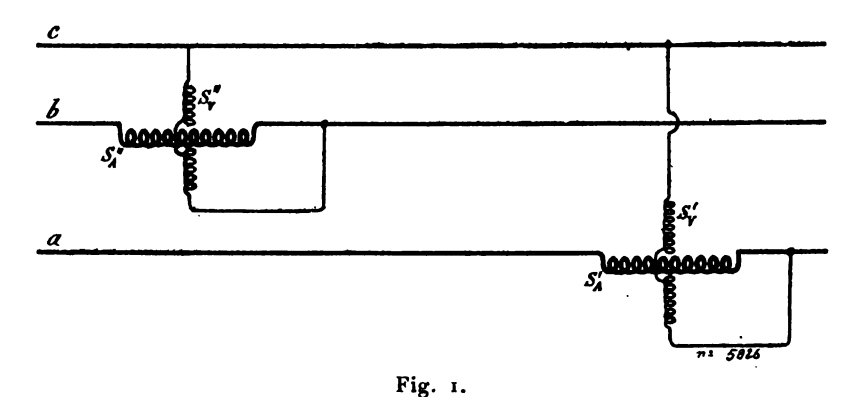


Fig. 1.

Or, s'il s'agit de compteurs électrodynamométriques, par exemple du type Elihu Thomson, et s'il s'agit d'essayer sur des systèmes triphasés auxquels sont appliqués des appareils inductifs asymétriquement disposés, les courants i' et i'' (fig. 2), qui parcourent respectivement les bobines voltmétriques S'_V et S''_V devraient se trouver exactement en phase respectivement avec les deux différences de potentiel V′ et V″, c'est-à-dire que le courant i' devrait se trouver en avance de phase de 30° par rapport à I′ et le courant i'' en retard de phase de 30° par rapport à I″.

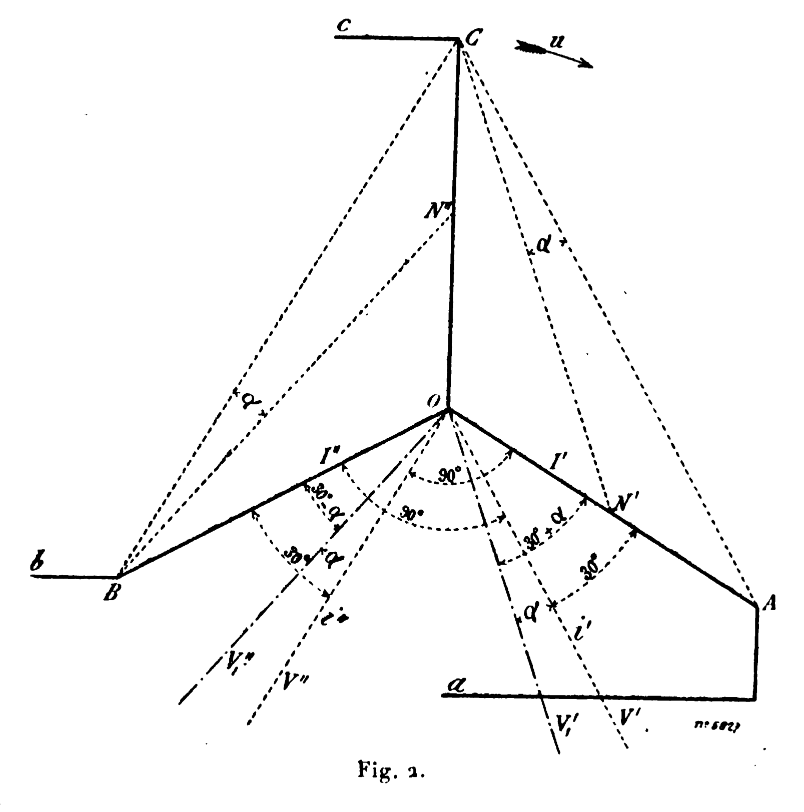


Fig. 2.

Dans la pratique il y a cependant toujours un certain retard de phase, que je représenterai par α, des courants i' et i'' par rapport aux différences de potentiel V′ et V″. Cela étant donné j'ai imaginé d'utiliser — au lieu des deux différences de potentiel V′ et V″ — deux autres différences de potentiel V'_1 et V''_1 (fig. 2), qui sont respectivement en avance de phase de 30° + α par rapport à I′ et en retard de phase de 30° — α par rapport à I″.

Dans ces conditions il est évident que le courant i' se trouvera en avance de phase de 30° par rapport au courant I′ et le courant i'' se trouvera en retard de phase de 30° par rapport à I″ : ce qui est précisément la condition qui devait être satisfaite.

***

Afin d'obtenir les deux différences de potentiel V'_1 et V''_1, j'insère dans le système triphasé un groupement convenable OA, OB, OC (fig. 3) ; et j'insère la bobine voltmétrique S'_V non plus entre les conducteurs *a* et *c*, mais entre un point N′ — choisi convenablement sur la branche OA dudit groupement — et le conducteur *c* ; et la bobine voltmétrique S''_V, non plus entre *b* et *e*, mais entre le conducteur *b* et un point N″, choisi convenablement sur la branche OC du même groupement (fig. 2 et 3).

En pratique, le groupement OA, OB, OC pourra consister en une petite bobine à réaction ordinaire pour systèmes triphasés.

J'appelle *compteur I* le compteur dont la bobine ampèremétrique est parcourue par le courant I′ et *compteur II* celui dont la bobine ampèremétrique est parcourue par le courant I″, qui est en avance de phase par rapport à I′. Il s'ensuit qu'afin d'opérer l'insertion du compteur I, on devra disposer la bobine voltmétrique correspondante entre le point N′ et le conducteur *c*. Pour l'insertion du compteur II, on devra disposer, au contraire, la bobine voltmétrique entre le conducteur *b* et le point N″.

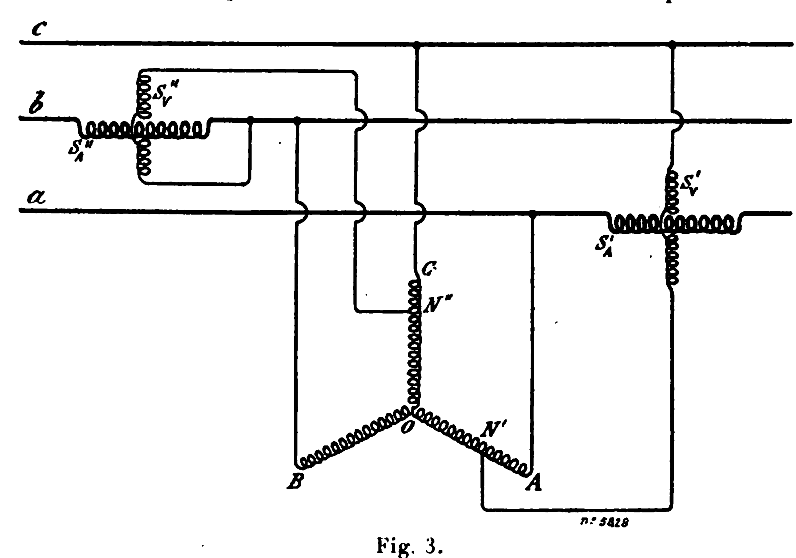


Fig. 3.

Enfin, pour effectuer d'une manière pratique et simple le réglage des deux compteurs, on pourra procéder comme ci-après :

En laissant subsister toutes les autres conditions d'insertion, on échange entre elles les deux bobines ampèremétriques des deux compteurs par rapport à leurs bobines voltmétriques, de façon que la bobine ampèremétrique du compteur I soit parcourue par le courant I″ et la bobine voltmétrique par le courant *i″*, et que la bobine ampèremétrique du compteur II soit parcourue par le courant I′ et la bobine voltmétrique par le courant *i″*. Une fois que les conditions correspondant à un fonctionnement exact des deux compteurs seront atteintes (fig. 2), les courants I′ et *i″*, de même que les courants I″ et *i′*, devront être décalés les uns par rapport aux autres de 90°.

Les choses étant disposées de la sorte, dans l'expérience préparatoire qui a été décrite, il arrivera évidemment que dans le cas de fortes charges symétriques non inductives — comme par exemple lorsqu'il s'agit de lampes à incandescence — les deux compteurs se trouveront dans des conditions de repos.

Il suffira donc de déplacer convenablement les deux points N′ et N″ respectivement sur les deux branches OA et OC du groupement OA, OB, OC (fig. 3), jusqu'à ce que les vitesses des équipages mobiles des deux appareils soient réduites à zéro, même pour des valeurs de I′ et de I″ relativement grandes.

On peut faire des considérations analogues lorsqu'il s'agit de compteurs à induction à champ tournant, appliqués sur des installations triphasées asymétriquement chargées par des appareils inductifs. Et dans ce cas le procédé a une importance pratique bien plus considérable ; car, avant tout, c'est précisément le compteur à induction qui se prête le

mieux pour la mesure de l'énergie dans les installations triphasées ; et encore, comme on verra d'après les considérations que je vais faire, le procédé même peut alors se réduire à être de la plus grande simplicité et de l'application la plus facile.

Dans ce cas, les courants i' et i'' qui parcourent respectivement les deux bobines voltmétriques S'_V et S''_V devraient se trouver respectivement en retard de phase d'un angle exactement égal à 90° par rapport aux deux différences de potentiel V′ et V″ (fig. 4) : c'est-à-dire le courant i' devrait être en retard de phase de 60° par rapport au courant I′ et le courant i'' en retard de phase de 120° par rapport au courant I″.

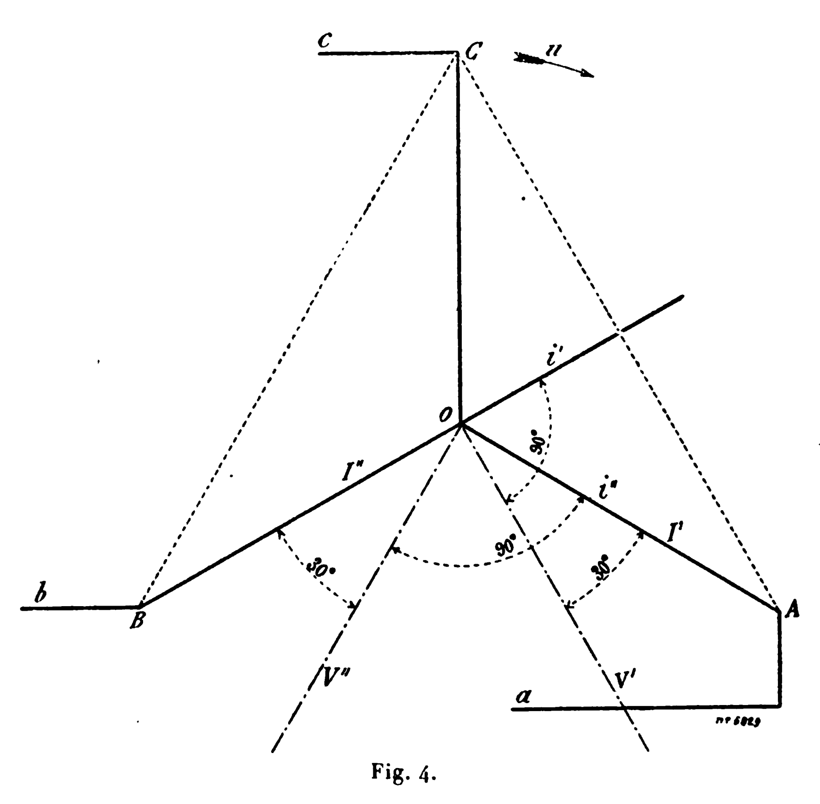


Fig. 4.

Comme cependant dans la pratique le retard de phase des courants i' et i'' par rapport aux différences de potentiel V′ et V″ est toujours inférieur à 90°, et précisément égal à 90° moins un angle α déterminé, j'ai imaginé d'utiliser — au lieu des deux différences de potentiel V′ et V″ — deux autres différences de potentiel V'_1 et V″ (fig. 5), qui se trouvent respectivement en avance de phase de 30° — α par rapport à I′ et en retard de phase de 30° + α par rapport à I″. Dans ces conditions, il est évident que le courant i' se trouvera en retard de phase de 60° par rapport à I′ et le courant I″ en retard de phase de 120° par rapport à I″ : ce qui est précisément ce que l'on voulait obtenir.

Cela donné, afin d'engendrer les deux différences de potentiel V'_1 et V''_1, je procède par l'une des deux manières suivantes :

I. — J'insère dans le système triphasé un groupement spécial OA, OB, OC (fig. 6), qui en pratique pourra être constitué comme une ordinaire bobine à réaction pour systèmes triphasés. Ensuite j'insère la bobine voltmétrique S'_V non plus entre les conducteurs a et c, mais entre le conducteur a et un point N′, choisi convenablement sur la branche OC dudit groupement ; et la bobine S''_V non plus entre les conducteurs b et c, mais entre un point N″, choisi convenablement sur la branche OB du même groupement, et le conducteur c (fig. 6 et 5).

II. — J'insère dans le système triphasé deux groupements O′A′, O′B′, O′C′ et O″A″, O″B″ O″C″ (fig. 7) : dont la branche O′A′ de l'un est formée par la bobine voltmétrique du premier compteur, et la branche O″C″ de l'autre est formée par la bobine voltmétrique du second compteur.

En ce cas, afin d'opérer le réglage des compteurs, on dispose les deux branches O′C,



et O″B″ appartenant respectivement aux deux groupements, de façon que les positions des respectifs noyaux magnétiques puissent varier par rapport aux enroulements des deux branches O′C′ et O″B″ susdites, et on cherche par tâtonnements les positions de ces deux noyaux jusqu'à ce qu'on ait satisfait aux conditions sus-mentionnées, c'est-à-dire de façon que les diagrammes relatifs aux deux groupements soient ceux représentés à la figure 7.

J'appelle *compteur I* le compteur dont la bobine ampèremétrique est parcourue par le courant I′, et *compteur II* celui dont la bobine ampèremétrique est parcourue par le courant I″, qui est en avance de phase par rapport à I′.

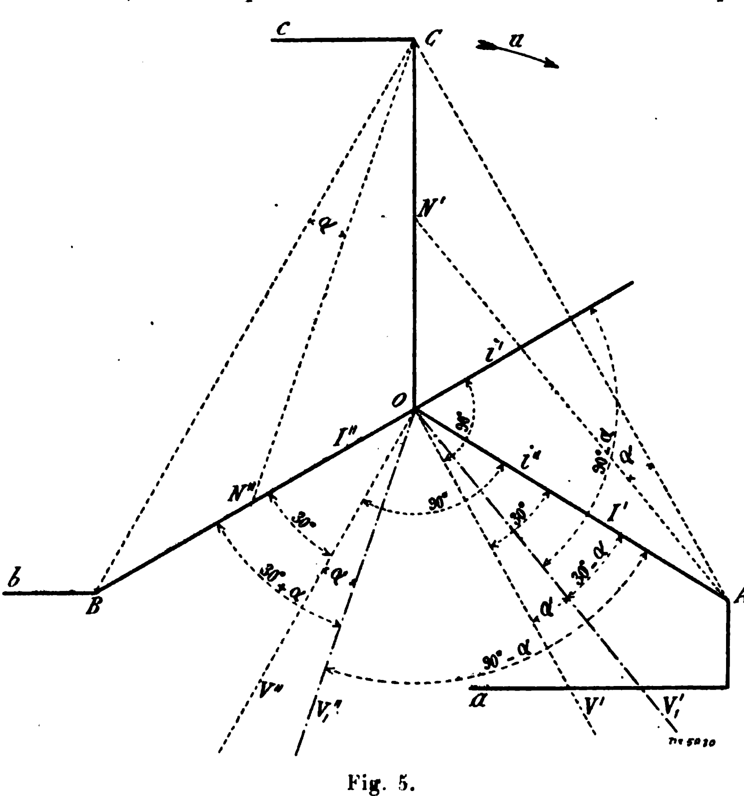


Fig. 5.

Il s'ensuit que, pour l'insertion du compteur I on devra disposer la bobine voltmétrique correspondante entre le conducteur *a* et le point O′, et la bobine de réglage entre le troisième conducteur *c* et le point O′. Pour l'insertion du compteur II, au contraire, on devra disposer la bobine voltmétrique entre le troisième conducteur *c* et le point O″, et la bobine de réglage entre le conducteur *b* et le point O″.

Enfin, pour effectuer le réglage des deux compteurs d'une façon pratique et simple, on pourra procéder de la façon suivante :

En maintenant invariables toutes les autres conditions d'insertion, on échange entre elles les deux bobines ampèremétriques des deux compteurs par rapport aux deux bobines voltmétriques des compteurs mêmes, de façon que la bobine ampèremétrique du compteur I soit parcourue par le courant I″ — tout en restant la bobine voltmétrique parcourue par le courant *i*′ — et que la bobine ampèremétrique du compteur II soit parcourue par le courant I′ — tout en restant la bobine voltmétrique parcourue par le courant *i*″.

Lorsqu'on aura atteint les conditions correspondant à un fonctionnement exact des deux compteurs (fig. 5), les deux courants I′ et *i*′ devront se trouver en phase entre eux et les deux courants I″ et *i*′ décalés exactement de 180°, ou bien — ce qui revient au même — I″ et *i*′ devront avoir la même phase, si on suppose l'un des deux courants inverti par rapport à l'autre.

Le tout étant disposé de la sorte, dans l'expérience préparatoire que l'on vient de décrire, il devra évidemment arriver que, dans le cas d'une forte charge symétrique et non inductive — par exemple dans le cas d'une charge formée par un grand nombre de lampes à incandescence — les deux compteurs se trouveront en conditions de repos.

Il suffira donc d'agir sur les deux noyaux mobiles des deux bobines de réglage O′C′ et



O″B″ jusqu'à ce que, même s'il s'agit de valeurs de I′ et de I″ relativement grandes, les vitesses des équipages mobiles des deux appareils soient réduites à zéro (¹).

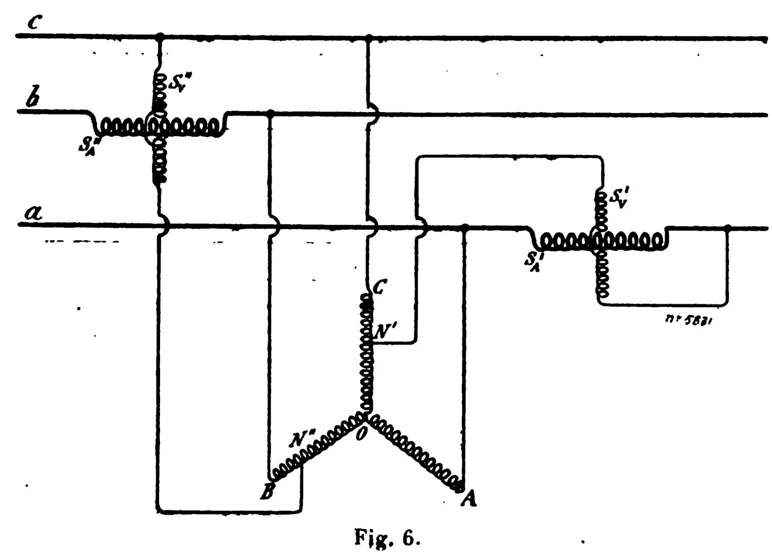


Fig. 6.

Il est à observer que la méthode de régulation que l'on vient de décrire possède, entre les autres, l'avantage que les appareils qui servent à la régulation (bobines de régulation O′C′, O″B″, et troisièmes bobines O′B′, O″A″) sont représentés exclusivement par des bobines inductives : ce qui a pour conséquence que la dissipation d'énergie dans les appareils mêmes peut être réduite de façon que l'on puisse considérer sa valeur comme négligeable dans la pratique. Il résulte des considérations exposées que le courant i' (fig. 5) qui parcourt la bobine voltmétrique du compteur I est décalé de

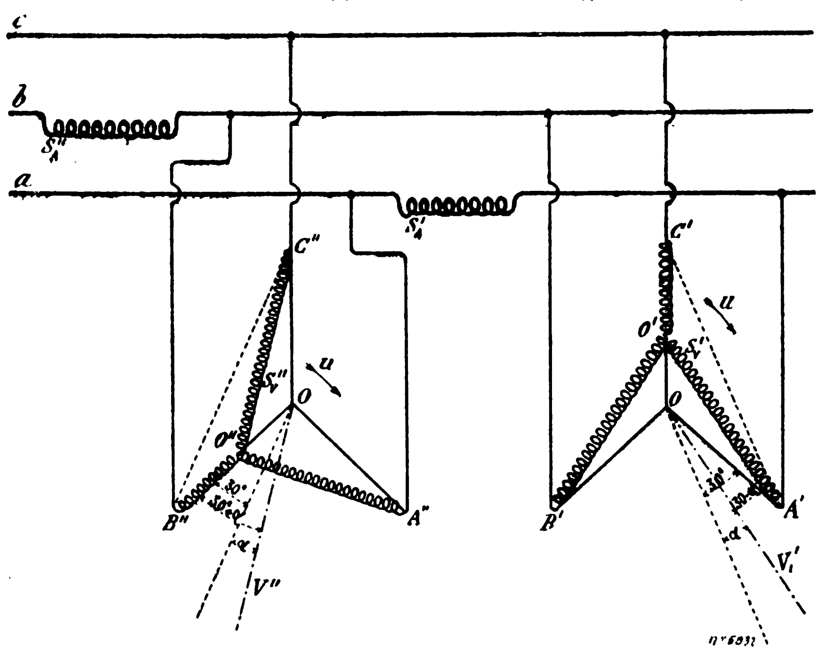


Fig. 7.

180° par rapport au courant I″ qui parcourt la bobine ampèremétrique du compteur II ; il résulte aussi que le courant i'' qui parcourt la bobine voltmétrique du compteur II se

(¹) Selon le procédé que l'on vient de décrire, la régulation des deux compteurs s'effectue à la condition que le système triphasé, dans lequel on insère les deux appareils, soit absolument symétrique.

Or, pour satisfaire dans la pratique à cette condition, il suffit de charger l'installation triphasée — de laquelle on dispose dans le laboratoire où l'on a fait des essais — par un groupement de lampes à incandescence ; et de

trouve en phase avec le courant I' qui parcourt la bobine ampèremétrique du compteur I.

J'utilise précisément ces deux courants i' et i'' afin d'obtenir qu'ils produisent dans les deux appareils respectivement deux flux d'induction ayant une action magnétique cons-

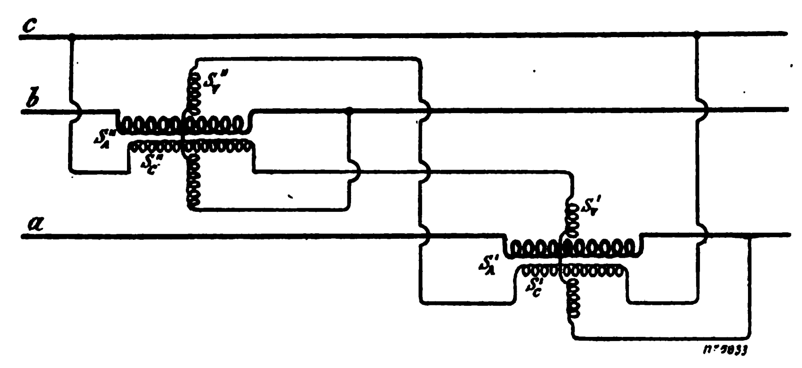


Fig. 8.

tante, indépendamment de la valeur de l'intensité du courant fourni aux appareils récepteurs. Les effets de ces flux sur les équipages mobiles des deux compteurs se superposant respectivement aux effets des flux d'induction magnétique produits par les deux courants qui circulent dans les bobines ampèremétriques des compteurs mêmes.

J'obtiens ce résultat en faisant traverser par les courants i' et i'' respectivement deux petites bobines S'_V et S'_C (fig. 8, 9, 10) comprenant un petit nombre de spires de fil fin, disposées parallèlement et enroulées d'une façon convenable par rapport aux bobines ampèremétriques S''_A et S'_A des deux appareils.

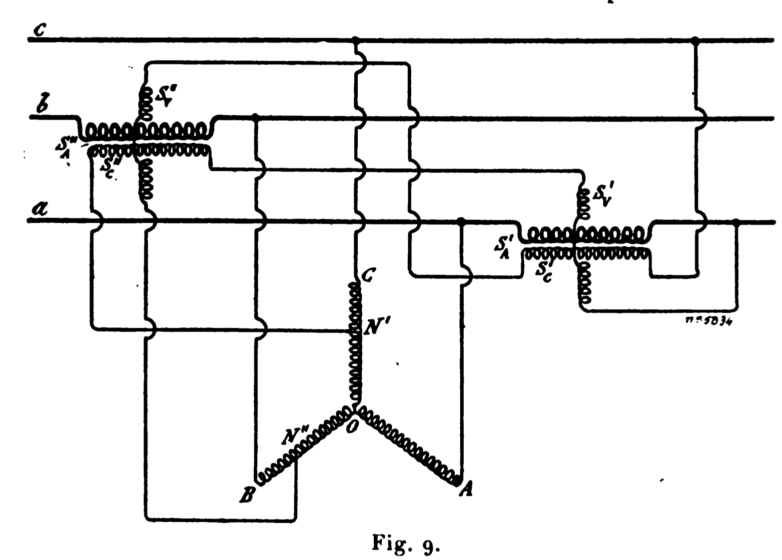


Fig. 9.

Les deux bobines S'_C et S''_C fonctionnent comme *bobines compensatrices* des deux compteurs, et elles ont pour but d'éliminer, ou au moins de diminuer considérablement, l'erreur due aux résistances de frottement des appareils. Les deux bobines S'_C et S''_C susdites seront par conséquent insérées en série respectivement avec les deux bobines voltmétriques S''_V et S'_V (fig. 8, 9, 10) ; et précisément la bobine compensatrice S'_C du compteur I se trouvera en série avec la bobine voltmétrique S''_V du compteur II et la bobine compensatrice S''_C du compteur II se trouvera en série avec la bobine voltmétrique S'_V du compteur I.

L'importance pratique de la disposition spéciale décrite, résulte des considérations suivantes :

---

varier par tâtonnements le nombre des dites lampes dans les trois phases du système, jusqu'à ce que les indications de deux wattmètres de précision — se trouvant respectivement dans les mêmes conditions d'insertion des deux compteurs que l'on veut régler — soient réduites à zéro.

1. — On ne doit employer aucune résistance ohmique ou inductive spéciale afin d'insérer

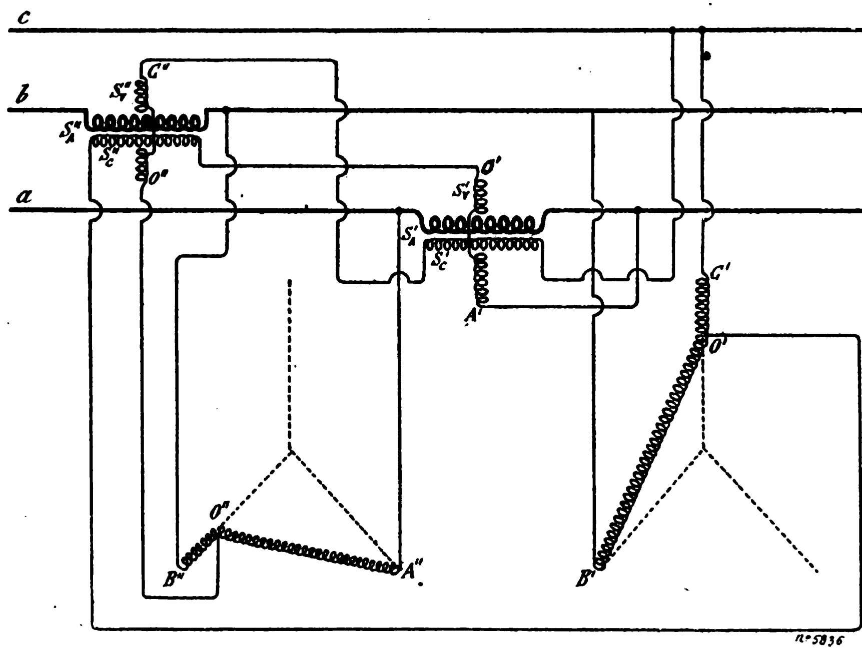


Fig. 10.

dans leur circuit respectif les deux bobines compensatrices, car elles sont respectivement insérées en série avec les deux bobines voltmétriques des compteurs.

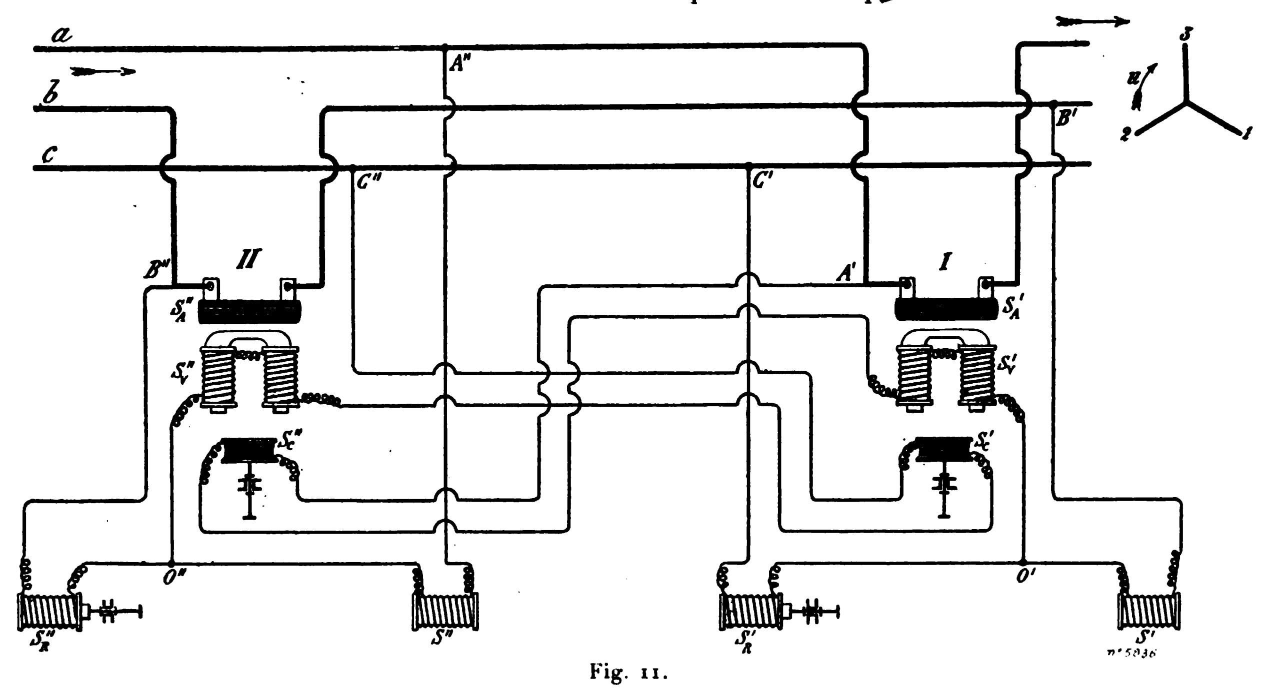


Fig. 11.

2. — Les deux courants i' et i'', qui parcourent respectivement le circuit de la bobine voltmétrique S'_V et de la bobine compensatrice S''_C et le circuit de la bobine voltmétrique S''_V et de la bobine compensatrice S'_C, sont décalés d'un angle très peu différent de 90° par



rapport aux différences de potentiel qui existent respectivement entre les extrémités desdits circuits, de façon que la dissipation d'énergie dans les circuits mêmes est pratiquement négligeable.

Dans la figure II sont schématiquement représentés — par leurs bobines ampèremétrieues S'_A, S''_A respectives et leurs bobines voltmétriques S'_V, S''_V, — les deux compteurs I et II, insérés dans le système triphasé *a b c*.

En S'_C, S''_C sont respectivement représentées les deux bobines compensatrices ; en S'_R, S'_R les deux bobines de régulation ; et enfin en S', S'' les troisièmes bobines appartenant aux deux groupements triphasés.

Compteur I.

	CHARGE	AMPÈRES	VOLTS	WATTS		VOLTS-AMPÈRES	TOURS	SECONDES	COMPTEUR cos φ	COMPTEUR φ°	MOTEUR ψ°	MOTEUR cos ψ	CONSTANTE		
Charge non inductive.	72 lampes par phase. . .	38,5	162	5335	5367	6237	50	69,6	0,86	30°	0	1	7391	7393	Constante moyenne = 7380
				5400			50	68,8					7396		
	36 lampes par phase. . .	20,5	162	2887	2877	3321	30	76,5	0,87	30°	0	1	7363	7347	
				2867,5			30	76,7					7331		
	12 lampes par phase. . .	7	165	1017,7	1013	1155	10	72,5	0,87	30°	0	1	7386	7370	Erreur p. 100 maximum
				1007,5			10	72,3					7355		
	6 lampes par phase. . .	3,7	162	522,5	524	600	3	42,3	0,87	30°	0	1	7367	7384	$\frac{46}{7380} = 0,6$
				525			3	42,3					7402		
Charge inductive.	Moteur et dynamo avec 72 lamp,	33,2	165	3000	3001	5544	40	98,6	0,548	56°,50'	26°,50'	0,89	7387	7385	Constante moyenne = 7373
				3001,5			40	98,4					7383		
	Id. avec 36 lampes . . .	20,7	165	1834	1833	3415	20	80,8	0,537	57°,30'	27°,30'	0,89	7343	7365	
				1831			20	80,7					7388		
	Id. avec 12 lampes . . .	13	165	798,5	801	2145	10	92,8	0,374	68°	38°	0,79	7410	7413	
				804,5			10	92,2					7417		
	Id. avec dynamo excitée à vide. .	10,5	165	322,5	316	1732	3	71,6	0,182	79°,30'	49°,30'	0,65	7363	7380	Erreur p. 100 maximum $\frac{50}{7373} = 0,6$
				308,7			3	71,9					7398		
	Id. avec dynamo et 72 lampes . .	33	165	2959	2975	5445	40	99,4	0,547	56°,50'	26°,50'	0,89	7353	7363	
				2992			40	98,5					7367		

Il y a encore à observer — ce qui est très important pour la pratique — que les dimensions des troisièmes bobines S' et S'' (fig. 11) n'ont pas absolument besoin d'être les mêmes que celles des bobines voltmétriques S'_V et S''_V, comme il a été indiqué dans les diagrammes de la figure 7 et comme on a supposé jusqu'à présent, pour rendre plus claire et plus facile la description du nouveau système de régulation. Dans la pratique les dimensions



des bobines S′, et S″, et conséquemment des bobines de régulation S'_R, S''_R, pourront donc être très réduites par rapport aux dimensions des bobines voltmétriques (fig. 11) : ce qui a pour conséquence d'en diminuer notamment le prix de revient, jusqu'à le rendre pratiquement sans aucune importance.

Dans les tableaux ci-joints sont indiqués les résultats des essais faits dans mon laboratoire [1] sur les deux compteurs. On voit que dans tous les cas — soit la charge non inductive ou inductive — l'erreur maximum est inférieure à 1 p. 100, et que par conséquent il représente exclusivement l'erreur de lecture.

Compteur II

	CHARGE	AMPÈRES	VOLTS	WATTS		VOLTS-AMPÈRES	TOURS	SECONDES	COMPTEUR cos φ	COMPTEUR φ°	MOTEUR Ψ°	MOTEUR cos Ψ	CONSTANTE		
Charge non inductive.	72 lampes par phase . . .	39	165	5679 5652	5665	6435	40 40	52,5 52,5	0,87	30°	0	1	7390 7354	7372	Constante moyenne = 7358
	36 lampes par phase . . .	21	165	2977 3066	3021	3465	20 20	49,3 48,9	0,87	30°	0	1	7338 7349	7343	Erreur p. 100 maximum
	12 lampes par phase . . .	7	165	1009 1015	1012	1155	10 10	73,1 72,4	0,87	30°	0	1	7375 7348	7361	$\frac{29}{7358} = 0{,}4$
Charge inductive.	Moteur et dynamo avec 72 lamp.	30,4	163	4970 4930	4950	4955	40 40	59,1 59,6	0,999	2°	28	0,88	7343 7345	7344	Constante moyenne = 7356
	Id. avec 36 lampes . . .	20,6	163	3330 3345	3337	3358	20 20	44,7 43,7	0,999	2°	28°	0,88	7337 7309	7323	
	Id. avec 12 lampes . . .	13,6	163	2161 2161	2161	2217	10 20	34,2 67,8	0,975	13°	43°	0,73	7392 7366	7379	
	Id. avec dynamo excitée à vide .	11	163	1618 1613,5	1616	1793	10 10	45,3 45	0,901	26°	56°	0,56	7329 7360	7344	Erreur p. 100 maximum
	Id- avec dynamo et 72 lampes . .	29,6	163	4824 4822	4823	4825	40 40	61,3 61,3	0,999	2°	28°	0,88	7393 7390	7371	$\frac{68}{7356}$ =,8,8

Riccardo ARNO.

---

(1) Institut technique de Milan ; Institution Electroctechnique Carlo Erba.

Les essais ont été faits avec la collaboration des ingénieurs, MM. Comboni et Polacco, auxquels je désire exprimer ici tous mes remerciements.



REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

Contribution à la théorie de la commutation, par **A. Rothert**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 865 et 884, 25 sept. et 2 oct. 1902.

L'auteur étudie longuement la question de la commutation dans les dynamos à courant continu, en supposant que les balais sont calés dans

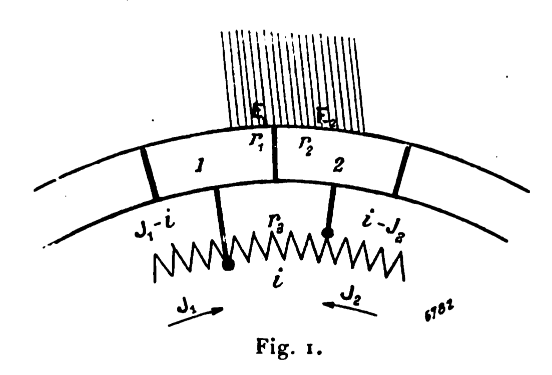


Fig. 1.

la zone neutre, et couvrent chacun exactement une lame. Il retrouve d'ailleurs l'équation fondamentale donnée par Arnold [1], mais au lieu

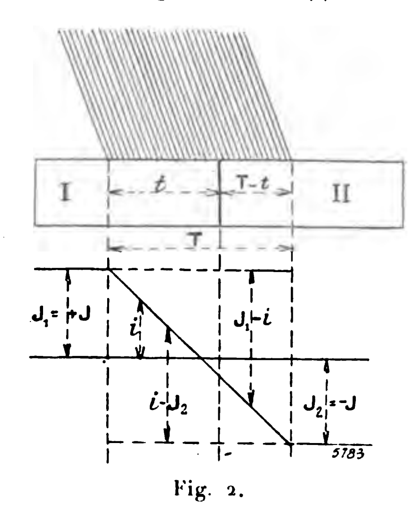


Fig. 2.

de la résoudre mathématiquement, il l'étudie par un procédé graphique, moins complet peut-être, mais qui, pénétrant plus au fond des choses, laisse voir de nombreux résultats intéressants que nous voulons signaler ici brièvement.

Les figures 1 et 2 indiquent clairement les notations adoptées pour les courants, les tensions et les résistances : r_1, r_2, représentent respectivement les résistances de contact des lames 1 et 2 avec le balai, et r_3 la résistance de la section, y compris les connexions au collecteur; T, la durée de la commutation, t l'instant considéré, compté à partir du commencement du court-circuit, 2 J, le courant total.

Si la self-induction de la bobine est nulle ou négligeable, le courant se répartira entre les deux lames de collecteur proportionnellement à la surface de contact, et par suite le courant i dans la bobine commutée variera de + J à — J,

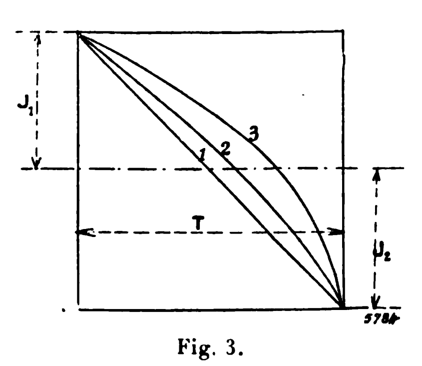


Fig. 3.

suivant une droite comme le montre la figure 2. La densité de courant sera constante sous le balai.

La présence de la self-induction modifie le phénomène en retardant la variation du courant, qui décroît moins vite que la droite théorique, droite 1 de la figure 3, mais comme la durée de la commutation est forcément limitée à T, la variation du courant i plus lente au début doit être plus rapide à la fin, et si la self-induction est trop grande elle se prolonge par une étincelle de rupture entre la lame et le balai; les courbes 1, 2 et 3 représentent les courbes de variation du courant i (courbes de commutation) pour une self-induction d'abord nulle, puis de plus en plus grande. La production de l'étincelle est encore favorisée par ce fait que la densité de courant devient très grande à la fin de la commutation et échauffe le balai, quelquefois même jusqu'au rouge : d'ailleurs, le retard apporté par la self-induction à la commutation est d'autant

(1) Enroulements et construction des induits des dynamos à courant continu, par Arnold, traduction de Leclerc.

plus grand que la self-induction est plus grande, que la résistance de contact est plus faible. Si on désigne par L le coefficient d'induction supposé constant, par E_1 et E_2 les chutes de tension entre lames et balai, on a en écrivant la loi d'Ohm,

$$-E_1 + E_2 + r_3 i + L \frac{di}{dt} = 0.$$

Remplaçant E_1 et E_2 par leurs valeurs $(J - i) r_1$ et $(J + i) r_2$, et négligeant r_3, on arrive à l'équation différentielle

$$L \frac{di}{dt} + i (r_1 + r_2) - J (r_1 - r_2) = 0 \qquad (1)$$

dans laquelle i est une fonction du temps, et r_1 et r_2 sont donnés par

$$r_1 = \frac{RT}{t}$$

$$r_2 = \frac{RT}{T - t},$$

avec R, résistance totale de contact du balai sur le collecteur. On posera pour abréger,

$$RT = x.$$

L'auteur considère surtout, au point de vue des étincelles, ce qu'il appelle la « tension d'étincelles », c'est-à-dire la tension entre la lame et l'arête du balai, au moment de la coupure : elle diffère de la tension de réactance moyenne considérée par beaucoup d'auteurs et qui est la valeur de la force électromotrice de self-induction calculée en supposant linéaire la variation du courant.

Au lieu de résoudre mathématiquement l'équation (1), l'auteur divise le temps T en un certain nombre de parties égales (20), et construit graphiquement la courbe de commutation, dans laquelle la tangente fait avec l'axe des temps un angle dont la tangente trigonométrique est égale à $\frac{di}{dt}$: étant donné un point de la courbe, l'équation (1) donne $\frac{di}{dt}$, c'est-à-dire la tangente en ce point, qui permet de déterminer graphiquement le point suivant, etc.

En prenant les nombres ronds suivants :

$$J = 10,\ T = 10,\ L = 1,\ x = 1,\ r_3 = 0,$$

l'auteur obtient la courbe de commutation de la figure 4.

La tension d'étincelles s'obtient en faisant le produit de la résistance de contact par le courant $J + i$: la méthode ne permet pas d'en déterminer la valeur limite. La variation de cette

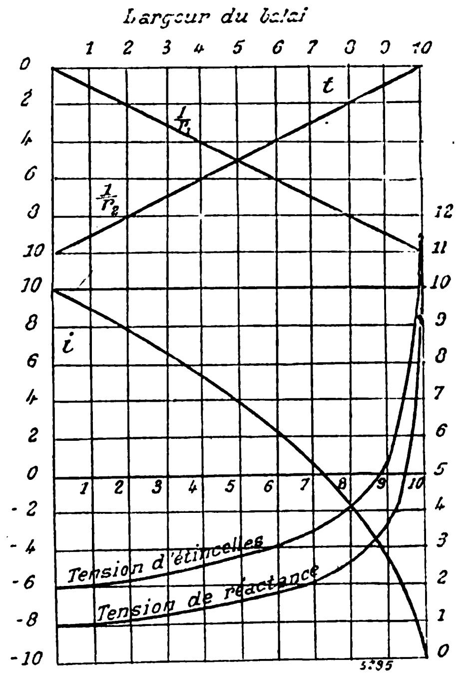


Fig. 4.

tension est aussi représentée sur la figure 4, ainsi que celle de la tension de réactance vraie, égale à $L \frac{di}{dt}$.

En remplaçant r_1 et r_2 en fonction de t dans l'équation (1), on peut la mettre sous la forme :

$$\frac{di}{dt} = \frac{x}{L} \left[J \left(\frac{1}{t} - \frac{1}{T - t} \right) - i \left(\frac{1}{t} + \frac{1}{T - t} \right) \right],$$

qui montre que c'est seulement le rapport $\frac{x}{L}$ ou $\frac{RT}{L}$ qui agit sur la forme de la courbe de commutation, et non l'un ou l'autre des termes R et L : mais les tensions de réactance et d'étincelles, pour une même valeur du rapport $\frac{RT}{L}$, augmentent avec R et L [1].

---

[1] Arnold a démontré (*loc. cit.*) qu'une condition *sine qua non* d'une bonne commutation est



$$\frac{RT}{L} > 1$$

La courbe de commutation donne immédiatement la densité de courant sous la lame en

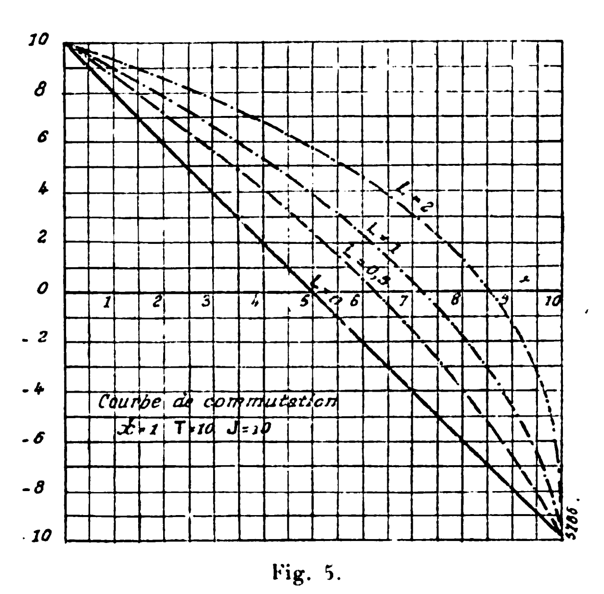


Fig. 5.

divisant le courant $J + i$ par la surface de la lame couverte par le balai.

La figure 5 donne les courbes de commutation, pour des valeurs différentes de L, la

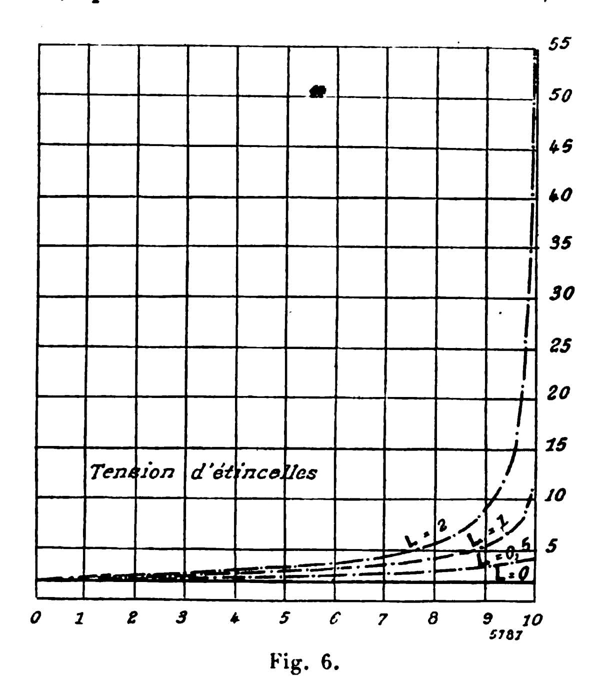


Fig. 6.

figure 6 les tensions d'étincelles. Pour $L = 2$, la tension d'étincelles à l'instant $t = 9{,}95$ est 14 fois plus grande que pour $L = 0{,}5$; d'après

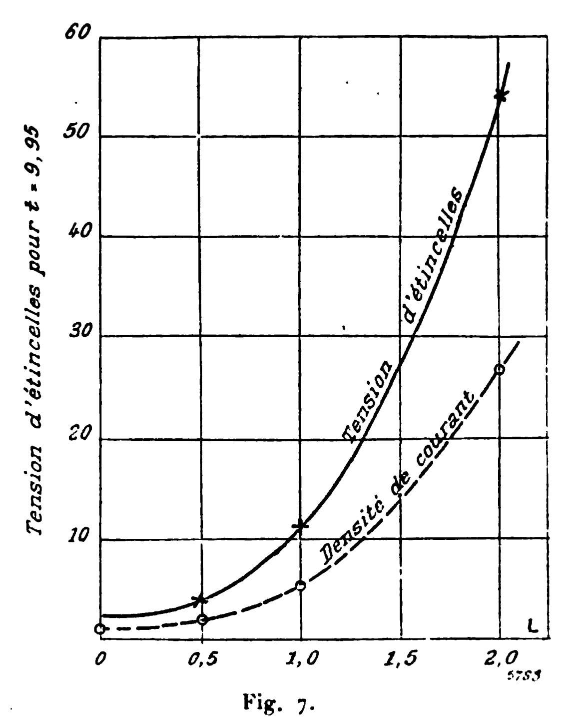


Fig. 7.

Arnold, lorsque $\frac{RT}{L} \geq 1$, elle est infinie à la

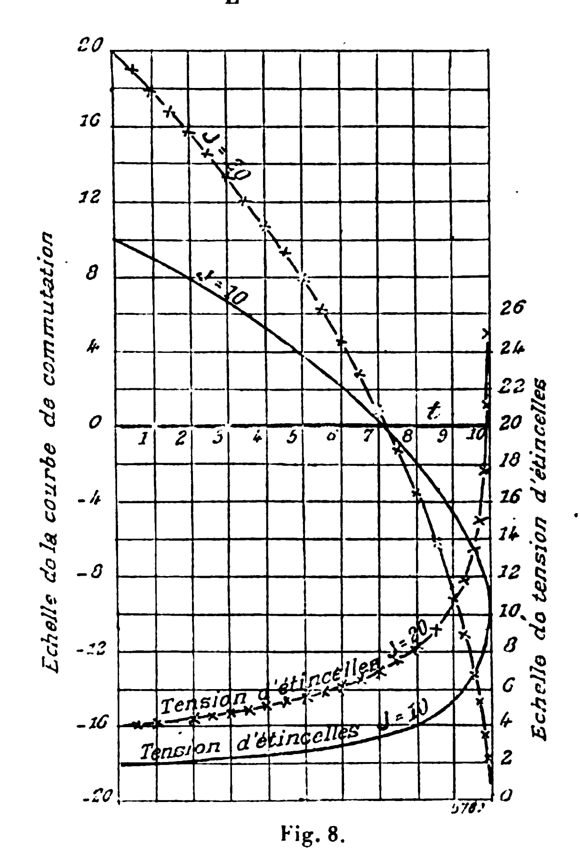


Fig. 8.



limite, ce qui coïncide bien avec la marche de la figure 6.

La figure 7 représente les valeurs de la tension d'étincelles et de la densité de courant (échelle arbitraire pour cette dernière), à l'instant $t = 9{,}95$, pour les différentes valeurs de L : 0, 0,5, 1 et 2.

Dans la figure 8, on a mis en évidence l'action du courant total sur la tension d'étincelles, pour le cas L = 1 ; on a étudié successivement J = 10 et J = 20. La tension d'étincelles est doublée, mais comme l'action nuisible des étincelles peut être considérée comme égale au produit de la tension d'étincelles par le courant, cette action sera quadruple pour un courant double, en supposant d'ailleurs que l'on ne modifie pas le nom-

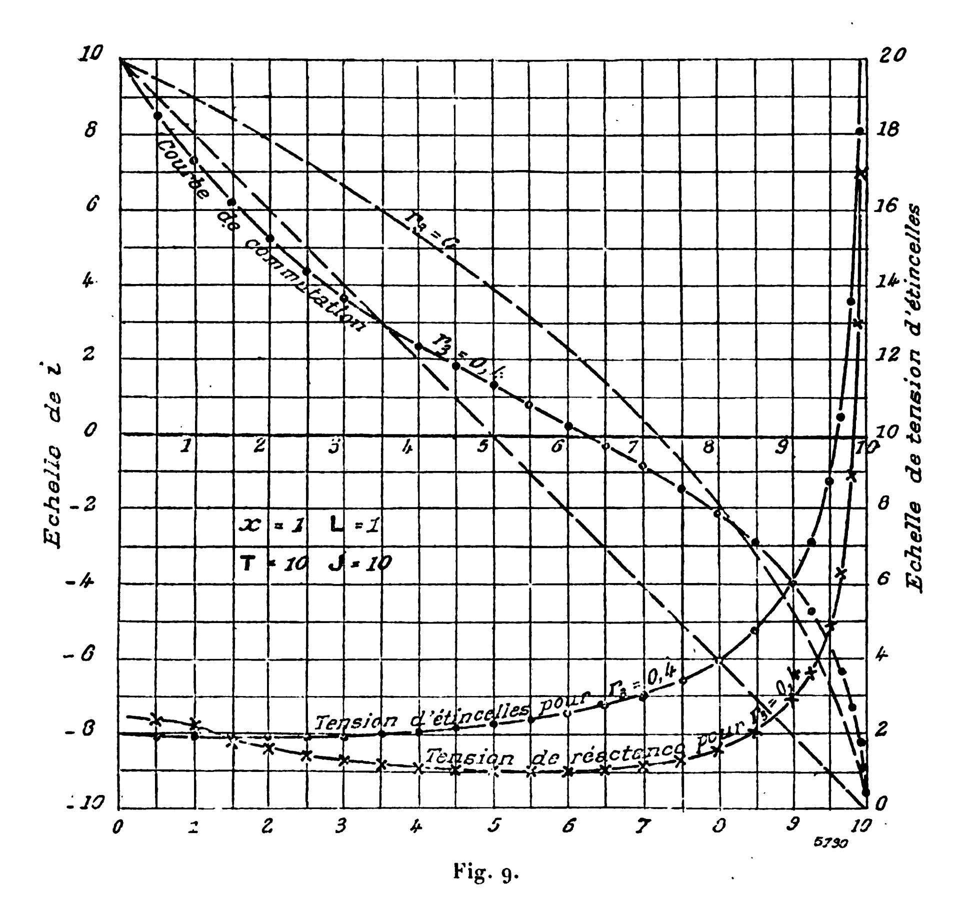


Fig. 9.

bre et la section des balais ; l'action deviendrait encore plus forte si l'on augmentait cette section, diminuant ainsi R et le terme $\frac{x}{L}$.

L'auteur examine ensuite l'action des résistances additionnelles intercalées dans les connexions des sections au collecteur, et il montre que, contrairement à une opinion assez répandue, ces résistances ont une action néfaste sur la commutation, au moins dans le cas de balais de charbon calés dans la zone neutre.

Prenons la résistance d'une connexion entre section et lame égale à 0,2, c'est-à-dire à deux fois la résistance de contact d'une ligne de balais $R = \frac{x}{T} = 0{,}1$. Alors r_3 n'est plus nul, mais égal à 0,4, et il faut dans l'équation 1, remplacer le terme $i\,(r_1 + r_2)$ par $i\,(r_1 + r_2 + r_3)$.

En prenant L = 1, $x = 1$, T = 10, on obtient les courbes de la figure 9, qui montrent nettement que l'intercalation de ces résistances amène d'abord une diminution de la tension d'étincelles au commencement de la commutation, mais provoque à la fin une augmentation de la densité de courant et de la tension d'étincelles.

En terminant l'auteur étudie le cas très intéressant de balais non homogènes, mais constitués par la réunion de deux ou plusieurs char-

bons de dureté différente : les résultats de ces calculs sont mentionnés dans les figures 10, 11, 12, et se rapportent à L = 1, T = 10 ; J = 10.

Dans la figure 10, les 2 premiers tiers du balai sont plus résistants que le dernier tiers ; l'effet obtenu sur la commutation est néfaste, la tension d'étincelles est augmentée.

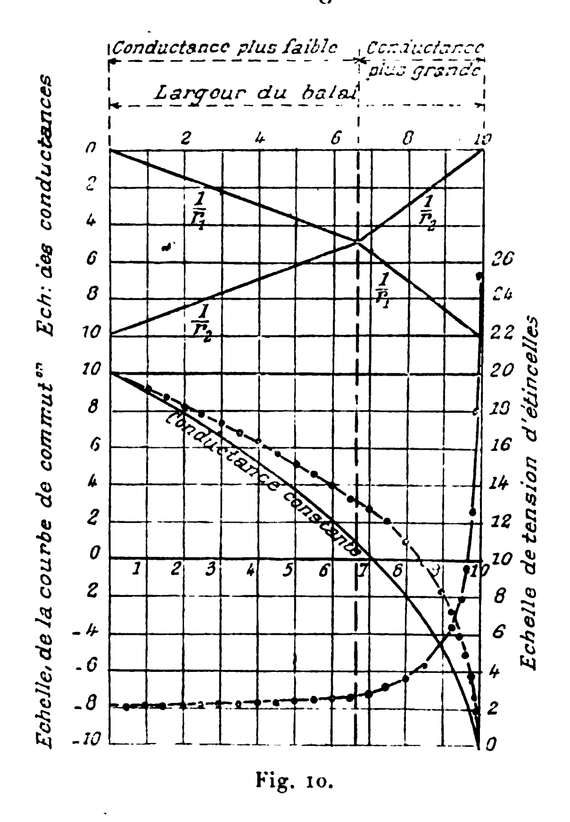


Fig. 10.

Si on inverse la position du balai, avec un premier tiers peu résistant et les deux derniers tiers plus résistants, la courbe de commutation se rapproche de la droite (fig. 11) ; la tension d'étincelles s'abaisse, la commutation est notablement améliorée ([1]).

Avec des balais en trois parties, de résistances respectives 1, 2 et 3, la partie finale de la courbe de commutation se confond avec la droite et la tension d'étincelles est devenue très faible (fig. 12).

Poussant encore plus loin cette question de l'action de la non homogénéité des charbons, l'auteur étudie quelle doit être la loi de varia-

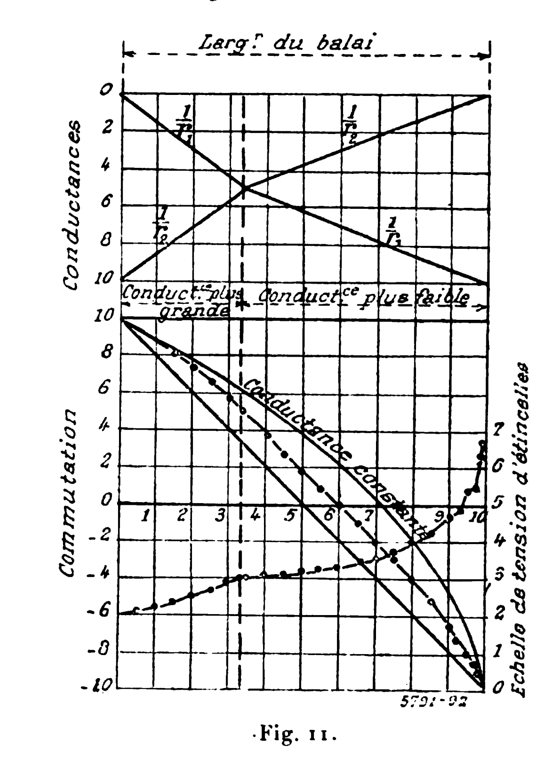


Fig. 11.

tion de la résistance spécifique de contact le long

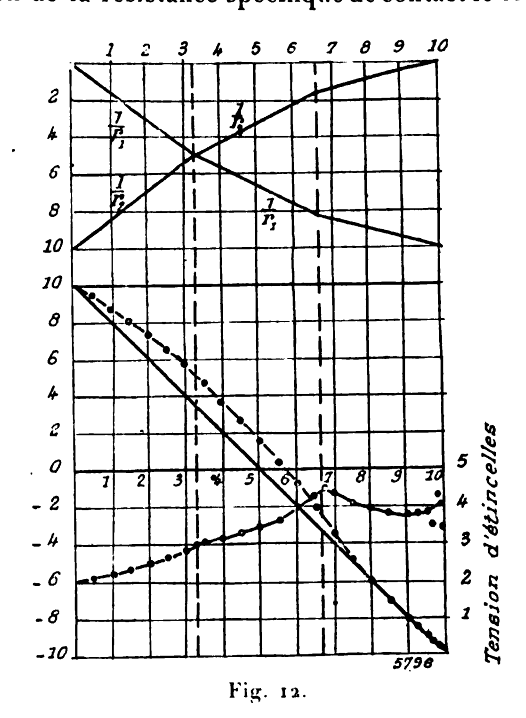


Fig. 12.

d'un charbon, pour que la courbe de commuta-

([1]) D'après l'auteur, la maison Elektricitäts-Aktien Gesellschaft, autrefois Schuckert et Cie, emploie avec succès des balais mixtes en cuivre et en charbon disposés de la façon indiquée.



tion se réduise à une droite, ou passe au-dessous de la droite, et il montre que tant que l'on a $\frac{RT}{L} > 1$, on peut arriver, par une gradation convenable des résistances des parties du balai, à obtenir une variation linéaire du courant pendant la commutation.

A. M.

Nouvelle méthode de construction du diagramme de Heyland, par **G. Sartori**. Extrait de *La Technica delle Correnti Alternate*, de G. Sartori (2 volumes en préparation).

Observations sur l'essai en court-circuit. — On sait que la construction du diagramme de Heyland nécessite la détermination du courant qu'absorbe le stator lorsque le rotor est freiné. Cet essai, possible pour les petits moteurs, devient difficile et souvent même impossible avec les moteurs de grande puissance. Pour alimenter le stator dans ces conditions, sans que la tension de distribution décroisse notablement, il faut que la puissance du transformateur soit de beaucoup supérieure à celle du moteur en essai, ce qui, ordinairement, n'est pas réalisé dans la pratique. Tout au plus, cela peut-il être fait quelquefois dans l'usine du constructeur. Heyland admet que l'on peut faire l'essai à tension réduite et déduisant ensuite le vrai courant de court-circuit par augmentation proportionnelle. Mais cette méthode n'est pas rigoureuse, parce qu'en diminuant la tension, on diminue l'induction et, par suite, les pertes dans le fer s'affaiblissent.

Il vaut mieux tracer une courbe des valeurs que prend le courant de court-circuit lorsque l'on fait croître par degrés la tension, en commençant à une tension basse et prolongeant ensuite au sentiment la courbe jusqu'à la valeur que le courant prendrait si la tension était normale. Mais il faut remarquer que le courant, même déterminé de cette façon, est très incertain, parce que la forme de la courbe varie avec la forme des dents ou des trous qui reçoivent les conducteurs sur le stator et sur le rotor ; entre deux courbes relevées sur deux moteurs de construction identique, ayant l'un des trous fermés, l'autre des trous ouverts, la différence peut être très notable. En outre, le tracé de la courbe, possible à l'usine de construction, ne l'est pas autant quand les moteurs sont régulièrement installés.

Comme conclusion, le diagramme de Heyland, qui est de très grande utilité pour acquérir rapidement une idée de la valeur d'un moteur asynchrone et des limites de son utilisation, est rarement possible à construire dans la pratique au moyen de l'essai en court-circuit ; c'est pour cela que l'auteur a imaginé une autre méthode de construction plus simple et qui, en évitant l'essai en court-circuit, est toujours possible en pratique. Avec cette méthode, on évite aussi la détermination de la résistance du stator, ce qui constitue un avantage non négligeable.

Mais il ne faut pas oublier que le diagramme de Heyland ne représente que d'une manière approchée le fonctionnement du moteur, parce que, en réalité, le lieu de l'extrémité des vecteurs de I n'est pas exactement un cercle, mais bien une courbe qui peut en différer notablement, spécialement au voisinage du court-circuit. Elle tend à donner, pour les valeurs de cos φ comme pour celles du rendement, des résultats meilleurs qu'ils ne sont en réalité, et il faut tenir compte de cela. Cette observation subsiste pour la construction du diagramme de Heyland avec la méthode de l'auteur ; mais cette dernière, étant basée sur deux déterminations faites dans les conditions de travail normal, conduit à des résultats qui s'accordent mieux avec les valeurs réelles.

Construction du diagramme de Heyland avec la méthode de l'auteur. — Cette méthode est basée sur la détermination exacte du glissement dans deux conditions déterminées de travail, pour lesquelles, comme dans la construction suivant Heyland, il faut relever le courant dans le stator et le déplacement de phase. Une de ces conditions peut être celle de marche à vide, qu'il est indispensable en tout cas de déterminer pour établir la droite des pertes constantes. Le cercle des I est déterminé quand on en connaît deux points b et c (fig. 1), le centre devant se trouver sur l'axe OQ'. L'essai à vide donne le point a, dont la projection se confond avec D ; on joint Dc et on mène la perpendiculaire en c, ce qui détermine le point Q' ; on a ainsi les deux extrémités du diamètre du cercle des I.

Supposons déterminé avec exactitude le glissement pour les deux conditions de travail b et c ou a et c ; menons les droites Q'b et Q'c. Sur une bande de papier f, on représente à une échelle quelconque, à partir du point O, deux segments OS' et OS'' correspondant aux deux glis-

sements déterminés pour les charges b et c et le segment qui correspond au glissement 100 p. 100. On transporte ensuite la bande de papier sur le diagramme et l'on détermine par tâtonnements la position pour laquelle les points O, S′ et S″ se trouvent respectivement sur les droites Q′O, Q′b, Q′c. On trace la droite correspondante O, S′, S″, c'est la ligne des glissements.

Joignant Q′ au point de glissement 100 p. 100, on obtient le point i_{cc} qui détermine le courant de court-circuit.

Il est bon, dans la pratique, de représenter les segments OS′ et OS″ à une grande échelle,

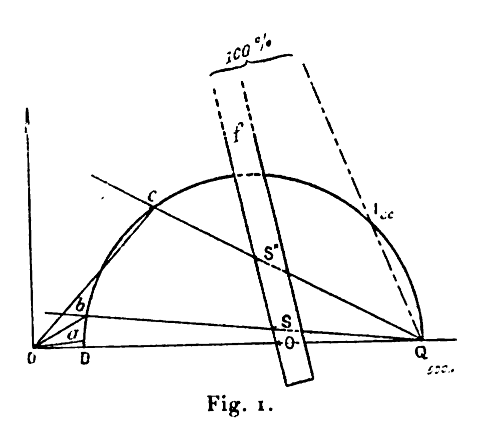


Fig. 1.

traçant ainsi la droite des glissements en au delà de O, quitte à la transporter ensuite parallèlement au voisinage de Q′. Les segments OS′ et OS″ sont alors réduits dans une forte proportion et il en est de même du segment limité au point de glissement 100 p. 100, qui se trouve ainsi dans les limites de l'épure.

Ayant tracé Q′i''_{cc}, le cercle tangent passant par Q′ et D donne le troisième cercle du diagramme de Heyland (cercle de la puissance). Le second cercle (cercle du couple moteur) s'obtient immédiatement, puisque la corde de ce cercle passant par D et Q′ sous-tend un angle égal à Q′OS″.

En résumé, cette méthode n'exige comme instrument spécial qu'un wattmètre ; on peut en effet prendre le voltmètre et l'ampèremètre du tableau s'ils ont été convenablement étalonnés depuis peu ; il n'y a à déterminer que le courant et le cos φ à vide et dans deux autres conditions quelconques de charge, en déterminant le glissement très exactement pour celles-ci.

On peut même se contenter de l'essai à vide et d'un essai en charge en déterminant les valeurs relatives du glissement ; mais avec les deux essais en charge, on atteint une précision plus grande.

Détermination du glissement. — Le glissement d'un moteur à champ Ferraris. dans une condition de charge donnée, peut être déduit indirectement du diagramme de Heyland. Mais il peut être nécessaire quelquefois de le déterminer directement sur le moteur, parce que cette détermination permet d'établir le rendement du moteur. Quand on doit construire le diagramme de Heyland suivant la méthode indiquée précédemment, la recherche du glissement constitue une détermination fondamentale.

On peut déterminer ce glissement en relevant à l'aide d'un compteur la vitesse du moteur sous la charge que l'on considère. Supposons, par exemple, qu'il s'agisse d'un moteur à quatre pôles, alimenté par du courant de fréquence 50. La vitesse de chacun des deux champs tournants du moteur sera donc de $50 \times \frac{60}{2} = 1\,500$ tours par minute.

Si, sous la charge, on observe une vitesse du rotor de 1 455 tours, on en conclut que le glissement est

$$\frac{1\,500 - 1\,455}{1\,500} \times 100 = 3$$

c'est-à-dire 3 p. 100. Mais si l'on commet une erreur de 1 p. 100 dans la mesure du nombre de tours, ce qui est très vraisemblable avec un compteur ordinaire, on trouvera une vitesse de 1 440 tours, et le glissement correspondant sera

$$\frac{1\,500 - 1\,440}{1\,500} \times 100 = 4$$

c'est-à-dire 4 p. 100. L'erreur commise dans l'évaluation du glissement sera de 33 p. 100.

Il est donc absolument indispensable d'employer un moyen plus exact pour la détermination de la vitesse ; on aura recours à une détermination stroboscopique. On fixe sur l'extrémité libre du moteur un disque de carton de 15 à 20 cm de diamètre, divisé en un nombre de secteurs double de celui des pôles du moteur. On peint en noir un secteur sur deux et on laisse les autres en blanc ; on éclaire le disque avec une lampe à arc alimentée par le courant même d'alimentation du moteur.

Si le moteur était synchrone, le disque semblerait immobile, parce que l'intervalle de temps que prend un secteur pour occuper la place du précédent est exactement égal à celui qui sépare

les deux maxima d'émission lumineuse de la lampe. Mais le moteur étant asynchrone, les secteurs paraîtront se mouvoir en sens inverse du mouvement du disque. Le mouvement rétrograde donne exactement la mesure du glissement. Tenant le regard fixé sur un secteur, on le suit sans le quitter dans son mouvement et l'on compte le nombre de tours qu'il fait en une minute ; on a immédiatement la mesure de la différence $\omega - \omega' = \omega_1$.

En divisant par la vitesse du champ, on a le glissement pourcentuel.

Cette méthode est générale et sert aussi bien pour les rotors à enroulement que pour les rotors à cage d'écureuil. Mais dans le cas des premiers, on peut encore en employer une autre.

On substitue à l'un des trois conducteurs qui relient les balais à la résistance de mise en marche un conducteur de quelques mètres de longueur qui, enroulé en spirale, enveloppe une aiguille aimantée. Sous l'effet du courant alternatif qui parcourt les conducteurs du rotor, l'aiguille prend une certaine rotation si l'on a eu soin de la rendre à peu près inerte par l'adjonction d'un petit disque de plomb et de bien centrer le système. Au commencement, il convient d'imprimer le mouvement à l'aiguille, parce qu'elle se comporte comme un moteur synchrone. Le nombre de tours par seconde de l'aiguille donne la fréquence du courant dans le rotor, fréquence qui est directement proportionnelle au glissement.

L'auteur a constaté que la première méthode est beaucoup plus sûre, surtout si l'on a soin de faire l'obscurité dans la salle où l'on fait l'expérience et de bien masquer la lampe à l'œil de l'observateur.

Ces méthodes ont le précieux avantage de donner directement la différence $\omega - \omega'$, avec laquelle l'évaluation du glissement pourcentuel est assez peu influencée par une variation possible de la fréquence pendant la mesure. En effet, si dans l'exemple précédent, où le glissement est de 45 tours par minute, la fréquence était 52 au lieu de 50, le glissement pourcentuel serait

$$\frac{45}{52 \times \frac{60}{2}} \times 100 = \frac{45}{1\,560} \times 100 = 2,88$$

et l'erreur commise serait à peine de 4 p. 100.

Mais si l'on veut opérer avec exactitude, il faut s'assurer de la fréquence et ne pas prendre une moyenne, fixée par l'usine de distribution du courant.

Dans les stations à courant alternatif, les machines motrices, turbines ou machines à vapeur, doivent avoir un degré de régularité assez faible pour que l'accouplement des alternateurs se fasse facilement et se maintienne. Si, à ce point de vue, le nombre de tours entre la marche à vide et celle qui correspond au maximum de charge est de 3 p. 100 par exemple, la fréquence varie d'autant et l'on ne peut, par suite, dans une mesure exacte, négliger de contrôler cette grandeur.

Ce contrôle peut se faire au moyen d'instruments appropriés nommés fréquencemètres ; mais il est facile d'improviser un de ces appareils pour avoir avec exactitude la mesure de la fréquence. A cet effet, on fait vibrer un fil métallique simple traversé par le courant alternatif et tendu entre deux points ; ce fil est placé entre les branches d'un aimant (1). En appliquant les lois de l'acoustique, on arrive facilement à établir la période du courant alternatif qui traverse le conducteur.

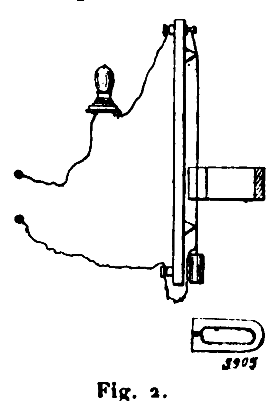


Fig. 2.

On suspend verticalement le fil (fig. 2) et on lui donne une certaine tension au moyen d'un poids ; on détermine deux points fixes sur ce fil à l'aide de deux chevalets, l'un fixe et l'autre mobile. On dispose horizontalement un aimant, ou mieux un électroaimant, pourvu d'expansions polaires, de façon que le champ dans lequel se trouve le fil soit le plus intense possible. On fait passer à travers le fil le courant alternatif d'une lampe à incandescence de 16 bougies et il entre en vibration. Quand la période de vibration propre du fil correspond exactement à celle du courant, il y a résonance et l'amplitude de la

(1) Procédé acoustique pour mesurer la fréquence d'un courant alternatif, *Écl. Élec.*, t. XXXI, p. 363, 7 juin 1902.



vibration devient maxima. Cette condition se réalise par tâtonnements en déplaçant lentement le chevalet mobile jusqu'à ce que l'on voie le fil former le ventre maximum. La fréquence d'oscillation est donnée par la formule connue d'acoustique

$$f = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{F}{p}}$$

où l est la longueur en centimètres de la partie vibrante du fil (distance entre les deux chevalets) ; F la force en dynes avec laquelle le fil est tendu, p le poids en grammes du fil par centimètre de longueur.

L'auteur a expérimenté avec un fil ordinaire de laiton de 0,4 mm de diamètre, pesant 938 milligrammes par mètre ; le poids appliqué à l'extrémité inférieure était de 455,5 grammes. Avec le courant de la station de la ville de Trieste, il a trouvé, dans une mesure, que la résonance s'obtenait pour une longueur du fil vibrant de 811 mm. A cet instant, la fréquence était donc

$$f = \frac{1}{2.81,1}\sqrt{\frac{455,5 \times 980}{0,00933}} = 41,1.$$

En réalité, la résonance peut avoir lieu pour les harmoniques de la note fondamentale, mais comme l'on connaît toujours approximativement la fréquence du courant employé, l'erreur est impossible à commettre. G. S.

APPAREILLAGE

Nouveaux disjoncteurs automatiques de la maison Voigt und Haeffner A.-G. Francfort-sur-le-Main, par **M. Vogelsang**. Communication à la 10e assemblée de la « *Verband Deutscher Elektrotechniker* », *à Dusseldorf. Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 847, 18 septembre 1902.

Au point de vue de la précision et de l'énergie du fonctionnement, on peut distinguer trois degrés dans les appareils automatiques :

1° *Disjoncteur à minimum.* — Une armature est maintenue adhérente à un électro-aimant alimenté par le courant considéré, et doit se détacher dès que, par suite de la diminution du courant, la force portante n'est plus suffisante. C'est l'appareil au fonctionnement le moins énergique et le moins sûr possible. En effet, la chute de l'armature se produit pour une valeur du courant qui n'est pas du tout constante, mais dépend au contraire de beaucoup d'autres circonstances, telles que l'intensité maximum qui a été atteinte, etc. De plus, dans le cas d'un changement rapide du sens du courant, l'aimant a le temps de se polariser en sens inverse sans que l'armature tombe et elle reste alors définitivement adhérente à l'aimant, même pour ce courant qui circule dans le mauvais sens. C'est là un inconvénient extrêmement

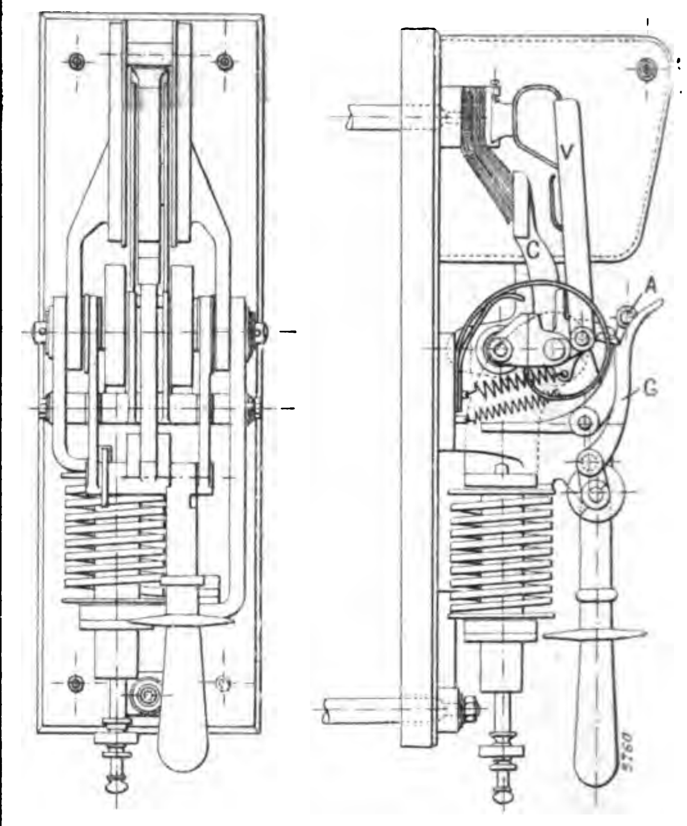


Fig. 1 et 2. — Vue de face et coupe d'un disjoncteur à maximum Voigt et Hœffner pour Centrale de tramways.

grave de ce genre d'appareils, et qui fait en sorte qu'on lui substitue la plupart du temps les appareils de la classe suivante.

2° *Disjoncteur à inversion.* — Ces appareils sont destinés à couper le circuit dès que le courant change de sens et atteint dans ce nouveau sens une valeur suffisante.

L'électro-aimant est normalement séparé de son armature, qu'il attire lors du fonctionnement. Il porte deux enroulements : un enroulement de tension, dont l'action est constante et trop faible pour attirer l'armature, un enroulement en série intercalé dans le courant considéré et disposé de telle sorte que pour le sens normal du courant le second enroulement travaille en sens

contraire du premier. Lorsque le courant s'inverse, l'action de l'enroulement série devient de même sens que celle de l'enroulement en dérivation, et l'attraction se produit quand la somme de ces actions est suffisante. Cet appareil fonctionne comme un disjoncteur à maximum, et son action est d'autant plus énergique que le courant inverse est plus considérable, ce qui présente un grand avantage au point de vue de la sécurité du fonctionnement. Remarquons en passant que l'appareil peut encore déclencher, comme disjoncteur à maximum, lorsque dans le sens normal le courant atteindra une valeur suffisante telle que la différence des ampères-tours en série et des ampères-tours en dérivation, opposés dans ce cas, soit assez grande pour provoquer l'attraction de l'armature.

Cet appareil présente un inconvénient inverse du premier : si la variation du courant est lente, il peut se faire que le déplacement de l'armature soit peu énergique, et la violence du choc sur le cliquet à déclencher, insuffisante pour en assurer le fonctionnement. On est ainsi conduit à adopter une troisième classe d'appareils, les meilleurs comme énergie de fonctionnement.

3° *Disjoncteur à relais.* — Dans ce type d'appareils, l'électro-aimant, destiné à attirer une armature dont le choc fasse déclencher l'interrupteur, n'est en marche normale parcouru par aucun courant; au moment de la rupture, un relais y envoie rapidement un courant considérable, et l'énergie du fonctionnement est ainsi toujours la même quelle que soit la lenteur ou la rapidité du déplacement de la petite armature du relais, qui lui-même est conditionné comme un électro de disjoncteur inverseur ou à maximum par exemple.

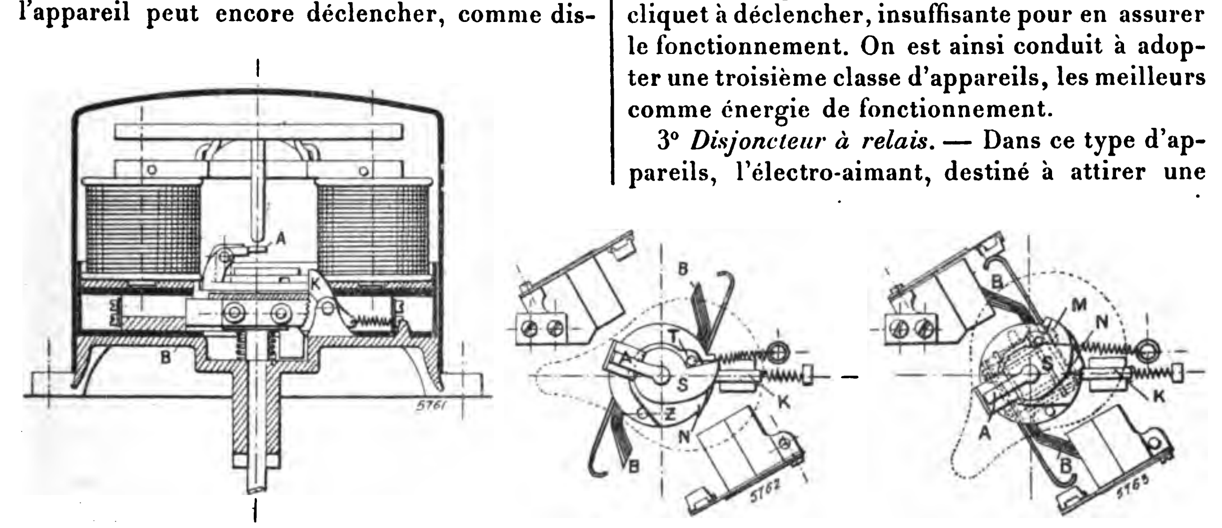


Fig. 3, 4 et 5. — Disjoncteur automatique à rotation pour voitures de tramways système Voigt et Hœffner.

Un des perfectionnements importants apportés dans la construction des disjoncteurs est celui qui empêche de refermer un disjoncteur, à maximum par exemple, tant que la cause qui l'a fait déclencher, subsiste : pour arriver à ce résultat on a tout simplement rendu le fonctionnement relatif de l'armature et du cliquet de déclenchement indépendant de la position du disjoncteur, et par suite possible même pendant la fermeture de l'appareil.

Les figures 1 et 2 représentent une vue de face et une coupe d'un disjoncteur à maximum pour tableau de distribution d'une centrale de tramways.

Le mouvement de la pièce de contact C est déterminé par un doigt G, sur lequel vient frapper le mécanisme de rupture A. Le doigt se prolonge en forme de corne, et est disposé de façon que sa position varie peu, pendant la fermeture du disjoncteur, par rapport au levier de rupture A, ce qui permet la coupure, même pendant ce mouvement; après la fermeture, la poignée retombe; l'ouverture à main s'obtient en déplaçant l'armature au moyen du bouton inférieur isolé. L'appareil est muni d'un pare-étincelles N et d'un soufflage magnétique; il occupe peu de place en largeur.

Les figures 3, 4 et 5 montrent le détail d'un disjoncteur automatique à rotation, pour voitures de tramways, également disposé pour le déclenchement possible pendant la fermeture. Le cliquet de déclenchement A est au centre et fixé à la pièce de contact B.

La poignée solidaire du plateau S, entraîne,

pour la fermeture, par l'intermédiaire de la tige T, un second plateau Z solidaire de B, qui se trouve ensuite arrêté par son talon N et le cliquet K fixé au châssis de l'appareil. La disjonction automatique résulte du choc de la tige de l'armature sur le cliquet A; la coupure à la main, de la rotation de la poignée en arrière, qui écarte le cliquet K, par l'intermédiaire du talon M de la came qui constitue le plateau S.

En terminant l'auteur décrit un conjoncteur disjoncteur automatique, qui peut se prêter aux emplois les plus divers et être commandé soit par un voltmètre ou un ampéremètre de contact, soit par un manomètre de contact pour air ou eau sous pression, soit par un flotteur, etc. Le principe du fonctionnement est le suivant : Lorsque l'appareil de commande se trouve placé pour la fermeture, un courant parcourt une bobine située à la partie supérieure de l'appareil; le noyau se déplace vers le haut et forme l'interrupteur principal, muni d'un souffleur magnétique.

Aussitôt un cliquet double s'enclenche en haut, maintient l'interrupteur fermé et le noyau supérieur soulevé, mais laisse libre un noyau inférieur qui tombe et coupe le circuit de la bobine, au moyen d'un petit interrupteur à ressort.

Pour la disjonction, un courant est lancé dans la bobine inférieure, le noyau de cette bobine est attiré vers le haut, frappe le cliquet, qui laisse le noyau supérieur et l'interrupteur est coupé par la chute de ce noyau, tandis que de nouveau le noyau inférieur est saisi par le cliquet; d'autre part le courant de la bobine inférieure est supprimé, d'après son montage, par la coupure de l'interrupteur principal, et l'appareil se retrouve dans la position du départ.

Le fonctionnement est très sûr et très simple en même temps. A. M.

Interrupteur électromagnétique Chauvin et Guerre pour bobines d'allumage des moteurs à gaz tonnants. *L'Industrie Electrique*, t. XII, p. 36-39, 25 janvier 1903.

La vitesse angulaire des moteurs à gaz tonnants tend chaque jour à augmenter à mesure que se perfectionne la fabrication. L'expérience [1] ayant montré que l'impossibilité de dépasser avec les moteurs actuels des vitesses supérieures à 1 000 tours par minute avec les

(1) « Il n'est pas sans intérêt de faire ici une comparaison entre les deux principaux systèmes d'allumage qui ont reçu la consécration d'une pratique de plusieurs années, l'allumage par incandescence (tube, fil de platine, etc.) et l'allumage par étincelle électrique.

» Dans les moteurs sur lesquels sont installés les deux systèmes, on constate à la dynamo ou au frein d'absorption, qu'en passant de l'allumage à tube à l'allumage électrique, leur puissance à égalité de vitesse angulaire s'accroît de 20 à 25 p. 100. A l'oreille, l'allumage par tube provoque une explosion moins stridente que celle de l'inflammation électrique, il semble même qu'elle soit fusante. Le diagramme d'indicateur montre d'ailleurs que l'ordonnée de la pression moyenne est plus faible dans ce dernier cas.

» Il semble, au contraire, que l'étincelle d'induction constitue pour le mélange d'un moteur l'amorce de fulminate d'une charge d'explosif dont le potentiel dynamique croît, comme on le sait, avec la puissance de l'amorçage. Le tube incandescent allume le mélange, l'étincelle électrique le fait détonner. Le tube, c'est l'amorçage à poudre de fusil à pierre de nos grands-pères, l'étincelle c'est l'amorce de fulminate de l'arme à feu moderne. Avec l'étincelle électrique on peut régler avec une précision quasi mathématique l'instant d'allumage du mélange, faire varier à volonté et instantanément ce qu'on appelle l'avance à l'allumage. Avec le tube incandescent, cela est pratiquement impossible.

» L'allumage électrique comporte actuellement deux solutions, dont l'une plus récente, par l'étincelle d'extra-courant, produite par une came mobile à l'intérieur du cylindre. Ce système délicat est encore trop nouveau pour qu'on puisse porter un jugement motivé sur lui. Toutefois on peut faire observer que l'étincelle produite par ce système, qui est une étincelle d'arrachement, n'a pas le caractère explosif, fulminant en quelque sorte, de l'étincelle électrique ordinaire, qui est si favorable au rendement thermo-dynamique d'un mélange explosif. Encore actuellement il présente l'inconvénient d'exiger un nettoyage très fréquent des surfaces entre lesquelles se produit l'étincelle d'arrachement, rendu nécessaire par le dépôt d'une sorte de glacis de même origine que celui qui se forme par l'usage sur les parois du cylindre. Ce glacis finit par empêcher le courant de s'établir parce qu'il est isolant, tout au moins pour les 4 à 6 volts de la source électrique employée. Enfin, les garnitures de l'axe de la came qui pénètre dans le cylindre finissent par donner lieu, malgré tout, à des fuites importantes.

» C'est ce qu'on peut éviter avec la bougie fixe de l'autre système d'inflammation dont il nous reste à parler maintenant. Dans ce dernier système, qui est le plus ancien et aujourd'hui de beaucoup le plus employé, on provoque l'inflammation par l'étincelle secondaire.

» Ce système comporte d'ailleurs deux solutions distinctes dont chacune présente des avantages et des inconvénients.

» Dans l'une, imaginée, ou tout au moins vulgarisée



bobines à trembleurs ordinaires était due uniquement à la trop grande lenteur de vibration de ceux-ci, MM. Chauvin et Guerre ont cherché à réaliser un modèle beaucoup plus rapide en réduisant les masses vibrantes et en augmentant les forces en jeu, et c'est en s'engageant dans cette voie que, sans rien changer aux bobines

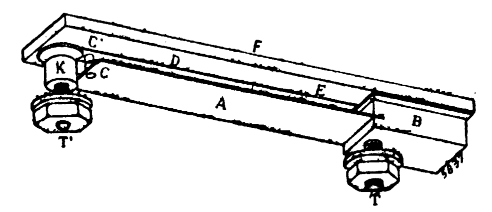


Fig. 1. — Vue du trembleur Chauvin et Guerre.

actuelles, ils sont parvenus à leur adapter un modèle de trembleur donnant, sous 4 volts, 436 ruptures par seconde, c'est-à-dire donnant 5 étincelles dans le temps que le trembleur ordinaire en donne une, de sorte qu'avec ce nouveau modèle, la vitesse angulaire d'un moteur pourrait être poussée jusqu'à 5 000 tours par minute, vitesse qu'on est encore loin d'atteindre, même avec de très petits moteurs.

---

par MM. de Dion et Bouton, le contact et la rupture du circuit primaire d'une bobine d'induction sans trembleur magnétique sont produits par une lame élastique qui, mise en vibration par une came circulaire dans laquelle est ménagé un cran de profil convenable, vient toucher deux ou trois fois de suite l'extrémité platinée d'une vis formant butée. Ces contacts, suivis de rupture du circuit primaire, donnent lieu à la production, aux extrémités du circuit secondaire de la bobine d'induction, des étincelles nécessaires à l'allumage du mélange explosif. Mais comme il faut à la lame vibrante une amplitude suffisante pour venir toucher l'extrémité de la vis de butée, cela nécessite de la part de la came une vitesse de déplacement qu'elle ne possède généralement pas dans les premiers instants de la mise en train puisque sa vitesse est invariablement liée à celle du moteur. D'où nécessité de tourner très vite et longtemps la manivelle du moteur, ce qui en rend la mise en marche pénible et laborieuse. Le réglage de cette lame est délicat et souvent éphémère.

» Il est vrai qu'on peut, pour remédier à cet inconvénient de la mise en train, rapprocher assez la vis butée pour qu'il y ait contact avec la lame vibrante lorsque le bec de celle-ci descend dans le cran de la came, mais on n'obtient alors qu'une seule étincelle d'allumage, et on tombe dans l'inconvénient beaucoup plus grave d'un gaspillage inutile de courant, et désastreux pour la source électrique employée, car le courant primaire n'étant pas modéré par la force contre-électromotrice de self-induction du primaire de la bobine, atteint sa valeur de court-circuit, qui peut être 15 à 20 fois supérieure à celle de régime et qui vide rapidement piles ou accumulateurs employés.

» L'autre solution consiste à faire fermer, au moment convenable, par une came à cran ou bossage, le circuit primaire d'une bobine à trembleur électromagnétique dont les vibrations donnent lieu à un flux d'étincelles entre les bornes de la bougie d'allumage.

» Cette méthode a l'avantage de rendre la mise en marche du moteur infiniment moins pénible et laborieuse qu'avec la disposition précédente, en ce sens qu'on peut tourner la manivelle aussi lentement qu'on voudra ; il y aura toujours un courant primaire, lequel étant constamment interrompu et rétabli par le trembleur magnétique donnera lieu à un flux d'étincelles produisant sûrement l'inflammation du mélange tonnant.

» Ce dernier système a donc l'avantage sur le précédent de provoquer un allumage toujours sûr au départ. Par contre, il présente un inconvénient que n'a pas le premier système, de limiter la vitesse angulaire des moteurs à la valeur de 1 000 à 1 200 tours par minute au maximum, vitesse qu'atteignent couramment aujourd'hui les moteurs d'automobiles même les plus puissants.

» La cause de cet inconvénient est très simple, et MM. Arnoux et Guerre l'ont mise nettement en évidence en déterminant la fréquence de vibration du modèle de trembleur actuellement et généralement employé. Cette fréquence est comprise entre 162 et 172 vibrations simples par seconde, ce qui correspond par conséquent à 80 et 86 ruptures de courant, de sorte que le temps nécessaire aux trembleurs actuellement employés pour établir puis rompre le courant primaire est de $\frac{1}{86}$ de seconde au minimum. Ainsi donc, suivant que la durée du contact établi puis rompu par la came sera supérieure ou inférieure à cette valeur, la bobine à trembleur donnera une étincelle d'allumage ou n'en donnera pas du tout.

» C'est précisément ce dernier cas qui se produit dans les moteurs lorsqu'ils tournent à des vitesses supérieures à 1 000 ou 1 200 tours par minute. Dans les moteurs actuels, en effet, la came de contact est commandée par un pignon denté qui fait un tour quand le moteur en fait deux, et comme le développement angulaire de cette came correspond à un dixième de tour du pignon qui la commande, on voit immédiatement que lorsque celui-ci atteint 600 tours par minute ou 10 tours par seconde, ce qui correspond à 1 200 tours par minute du moteur, la durée du contact de came est de l'ordre du centième de seconde, inférieure par conséquent au temps nécessaire au trembleur ordinaire pour donner une seule étincelle sur la bougie. La rupture du circuit primaire se produit sur la came avant de se produire sur le trembleur qui est seul muni du condensateur nécessaire pour donner lieu à une étincelle secondaire ; cette dernière ne se produit donc pas et il y a des ratés d'allumage tant que la vitesse du moteur est supérieure à celle qui correspond sur la came à une durée de contact inférieure à 1/85e de seconde.

Comme le montrent les figures 1 et 2, le trembleur proprement dit est réduit à une simple lame d'acier très magnétique, de la largeur du noyau inducteur et de deux à trois dixièmes de millimètre d'épaisseur, encastrée par une de ses extrémités dans une masselotte isolée B et munie à l'autre d'un contact ou rivet en platine.

Au repos, cette lame A est bandée contre une autre lame D, très élastique, beaucoup plus courte, munie également d'un contact en platine qu'une bande initiale de la lame D force à s'appliquer constamment sur le contact C, et cela quelle que soit l'amplitude des vibrations de la lame principale. La lame D est fixée par une de

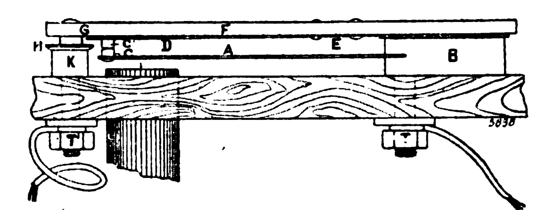


Fig. 2. — Coupe du trembleur.

ses extrémités E sur une plaquette ou platine en fer doux F ; son autre extrémité se termine par un bec susceptible d'être arrêté dans sa course vibratoire par un entablement H ménagé dans la colonnette support K. La platine en fer doux F remplit également un rôle important. Sous l'action magnétisante du noyau inducteur, elle s'aimante en créant entre elle et le noyau un champ magnétique très intense qui augmente l'action attractive sur la lame A.

Le fonctionnement de ce trembleur est dès lors très facile à comprendre. Dès que le courant traverse le primaire de la bobine et le contact CC' par l'intermédiaire des lames A et D et des tiges T et T', le noyau inducteur attire la lame A que la contre-lame D accompagne jusqu'au moment où le bec G de cette dernière est brusquement arrêté dans sa course par la butée H. Cet arrêt en pleine vitesse vibratoire de la lame de contact D par la butée H produit une rupture extrêmement brusque du courant primaire, condition essentielle, comme on le sait, pour développer dans le secondaire une force électromotrice aussi élevée que possible. Cette rupture mécanique très brusque présente aussi l'avantage d'augmenter considérablement la durée des contacts en platine du trembleur qui peuvent fonctionner avec toutes les tensions comprises entre 2 et 12 volts. Dans ce dernier cas, il est nécessaire de porter à 2 mm l'écartement des fils de la bougie.

Bien que le nouveau trembleur permette de pousser jusqu'à 5 000 tours par minute la vitesse des moteurs, MM. Arnoux et Guerre ont tenu à apporter dans le montage de la bobine (fig. 3)

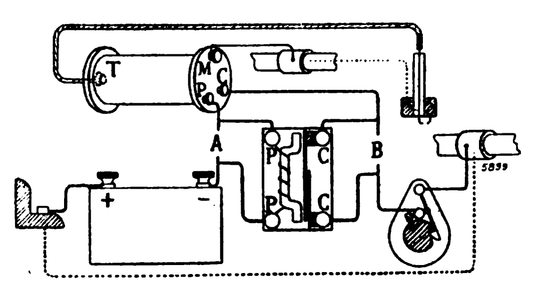


Fig. 3. — Diagramme d'un moteur.

une modification très simple qui permette à celle-ci de donner toujours au moins une étincelle quelque faible que soit la durée du courant lancé dans le primaire, même dans le cas par exemple où cette durée est inférieure à celle nécessaire à la mise en train du trembleur. La solution de ce problème consiste tout simplement à intercaler le circuit de came entre le trembleur et l'un des points d'attache de son condensateur, de façon que ce dernier comprenant entre ses pôles les deux points de rupture du courant primaire remplisse toujours son rôle d'étouffoir, que cette rupture se produise soit sur le trembleur, soit sur la came, soit sur les deux en même temps.

TRACTION

Electromobile à essence, par **W. A. Th. Müller**. *Centralblatt f. Accumulatoren-Elementen-und Accumobilenkunde*, t. IV. p. 3 et 13, 1er et 15 janvier 1903.

Dans le système appelé « voiture mixte », la transmission se fait mécaniquement, avec changement de vitesse et dispositif de marche arrière. La machine électrique et la batterie ne sont là que pour régulariser la charge du moteur à explosion ; pendant la surcharge de celui-ci la dynamo travaille comme moteur en empruntant du courant à la batterie. Quand la charge tend à diminuer, la dynamo agit en génératrice et charge la batterie. Ce système réunit les inconvénients des deux systèmes à pétrole et électrique, et il ne procure aucune amélioration au point de vue économique.



Dans le procédé considéré ici, on a écarté les inconvénients respectifs de chacun des deux systèmes précédents. Un groupe électrogène installé sur la voiture envoie de l'énergie électrique à des électromoteurs qui actionnent les roues. Si les anciennes tentatives d'application de ce principe n'ont pas réussi, c'est que les conditions n'étaient alors pas les mêmes qu'aujourd'hui.

On dispose en effet actuellement de moteurs à pétrole de poids beaucoup moindre et dont la grande vitesse permet l'accouplement direct avec la machine dynamo-électrique.

L'auteur discute les avantages que peut donner à un pareil système l'addition d'une batterie d'accumulateurs. Il calcule pour cela le poids de batterie nécessaire pour obtenir une puissance de 1 watt, d'après les données relatives aux accumulateurs les plus employés. Comme poids, on entend ici le poids total de la batterie y compris la caisse (on a compté en plus pour celle-ci 30 kg pour la batterie de 40 éléments du petit type, et 100 kg pour celle du gros type).

Le tableau suivant indique les résultats obtenus [1] :

ESPÈCE DE BATTERIE		TEMPS DE MARCHE							
		1 heure.		3 heures.		5 heures.		10 heures.	
		watts.	kg par watt.	watts.	kg par watt.	watts.	kg par watt.	watts.	kg par watt.
Plaques à grande surface	petit type.	1 320	0,199	720	0,366				
	gros type.	7 920	0,148	4 308	0,266				
Plaques à grille	petit type.			1 080	0,232	768	0,326	456	0,549
	gros type.			7 200	0,204	5 120	0,386	3 040	0,482

Une petite dynamo à 4 pôles, tournant à 1 000 tours par minute et capable de donner comme puissance constante 1 à 2 kilowatts, a un poids de 80 à 100 kg par kilowatt. Son rendement est égal à 0,75 environ, de sorte que pour une puissance utile de 1 kilowatt, il faut disposer d'un moteur de $\frac{1\,000}{736} \cdot \frac{1}{0,75} = 1,81$ cheval.

Les petits moteurs à pétrole d'exécution solide pèsent de 30 à 35 kg par cheval, y compris tous les organes accessoires. Il faut donc compter 55 à 64 kg de moteur à pétrole par kilowatt de dynamo. On déduit de ces chiffres, pour le poids maximum du groupe électrogène, 0,164 kg par watt.

Pour les plus grosses machines, de puissance 7 à 10 kilowatts, construites à 6 pôles, le poids descend à 35 kg par kilowatt ; le rendement atteint 0,85, de sorte que la puissance du moteur à pétrole doit être de $\frac{1\,000}{736} \cdot \frac{1}{0,85} = 1,6$ cheval par kilowatt. Les moteurs à pétrole correspondants ont un poids de 17 à 20 kg par cheval, soit au maximum 1,6.20 = 32 kg par kilowatt. Dans le cas de groupes électrogènes à grande puissance, le poids maximum du groupe n'est donc que 0,067 kg par watt.

Comparés aux valeurs du tableau, les chiffres précédents montrent l'économie de poids due au système électrogène sur l'exploitation par batterie seule. Dans le cas d'une heure de marche seulement pour la batterie, cette économie est encore de 17,5 p. 100 pour les petits groupes et de 55 p. 100 pour les gros groupes. Si on compare des durées de cinq heures de marche, il faut ajouter pour l'essence environ 5.0,5 = 2,5 kg par cheval pour les petits types et 5.0,4 = 2 kg pour les gros. Dans ces conditions, le poids du groupe électrogène n'est que les 52 centièmes de celui de la batterie pour les petits types, et seulement les 25 centièmes pour les gros.

Au point de vue du poids, l'avantage est incontestable ; mais il y a lieu d'examiner si cet avantage n'est pas racheté par d'autres inconvénients. La simplicité qui est la qualité propre de l'accumobile, n'existe plus ici.

[1] Certains accumulateurs français conduiraient à des poids notablement moindres, tels que 0,160 kg par watt au régime de trois heures.



Afin de juger les avantages que procure la transmission électrique sur la transmission mécanique, on a tracé les courbes de la figure 1 qui se rapportent à la variation d'intensité du courant en fonction de la rampe en p. 100. Il faut choisir un groupe capable de donner au minimum l'intensité exigée en palier. En pratique, on donne un peu plus pour tenir compte de la nature des voies ainsi que des rampes. On supposera ici que le groupe donne sa charge totale en palier. Lorsque surviennent les faibles rampes, on remplace le groupement en quantité par le groupement des moteurs en série, ce

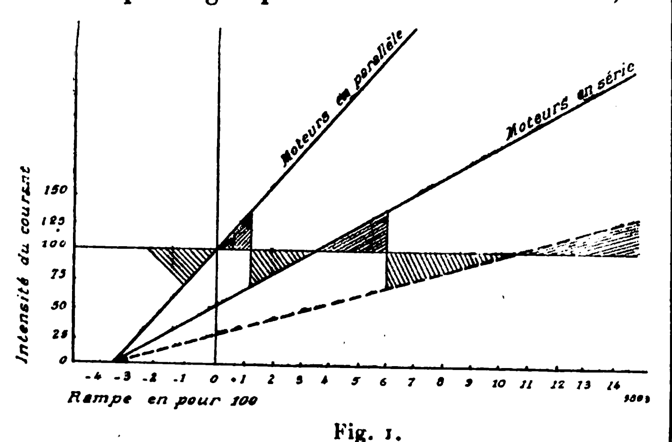


Fig. 1.

qui diminue de moitié la vitesse. Quand la rampe atteint 3,6 p. 100, le groupe reprend sa charge complète ; pour les rampes comprises entre 0 et 3,5 p. 100, on n'utilise qu'une partie de sa puissance. Si on veut vaincre des rampes dépassant 3,5 p. 100, il faut obtenir un troisième degré de vitesse, soit en disposant de 4 moteurs que l'on place en série, ou bien encore en couplant en parallèle deux enroulements prévus sur la dynamo.

En fait, les deux méthodes sont identiques ; elles donnent la ligne ponctuée de la figure 1. Avec cette disposition, on atteint à nouveau la puissance totale du groupe pour une rampe d'environ 10,5 p. 100. Une telle graduation de vitesse correspond entièrement aux changements mécaniques de vitesse ; dans les deux cas, la puissance est mal utilisée.

Il est possible cependant d'atteindre la puissance totale pour tous les profils si la machine possède un rhéostat d'excitation permettant le réglage de la tension. Si une intensité plus élevée devient nécessaire, on diminue le champ de telle façon que le produit de l'intensité par la tension reste constant, abstraction faite des variations de rendement. Avec la diminution de tension baisse la vitesse de la voiture. On n'utilise le changement de couplage des moteurs que lorsqu'apparaissent au collecteur de trop fortes étincelles qui ne permettent pas une plus grande diminution du champ. Cette disposition a l'inconvénient de trop compter avec l'intelligence et le soin du conducteur.

Un réglage automatique peut être facilement réalisé par la disposition d'une batterie d'accumulateurs en parallèle avec la dynamo. Lorsque la rampe est suffisante, la batterie débite et aide le groupe électrogène ; la petite surcharge du moteur à pétrole fait en effet diminuer la vitesse de sorte que la tension de la batterie dépasse celle de la dynamo. Dans les pentes, au contraire, par suite de la faible puissance, la vitesse du moteur augmente et la tension de la dynamo devenant supérieure à celle de la batterie, cette dernière se charge. Comme on voit d'après le diagramme de la figure 1, on peut aller jusque 1,2 p. 100 de rampe, en supposant une intensité maxima égale en charge et en décharge. Dans la deuxième position, on va jusqu'aux rampes de 6 p. 100. La dernière combinaison permet de vaincre les plus hautes rampes, jusque 15 p. 100 environ.

Comme la batterie se recharge après son débit, il suffit de prévoir cette batterie pour une décharge d'une heure. Elle répond à toutes les nécessités si elle est capable de donner comme maximum pendant de courts instants le quart de la puissance totale du groupe électrogène. Dans ces conditions, le poids de l'ensemble est augmenté de 0,05 kg par watt, pour la batterie. Le poids total dépasse ainsi le poids relatif au système avec batterie seule, dans le cas des petites machines ; mais pour toutes les grosses voitures, il n'en est pas ainsi.

Un autre avantage procuré par l'adjonction de la batterie est le démarrage facile du moteur en envoyant le courant de cette batterie dans la dynamo.

En résumé, l'électromobile à pétrole ainsi comprise permet de nombreuses espérances, contrairement à l'accumobile dont le développement est entravé par le poids et le coût d'entretien de la batterie.

L. J.

DIVERS

Résistance magnétique inductive, par **J. Zenneck**. *Drude's Annalen*, t. IX, p. 497-522, nov. 1902.

Il est commode, pour représenter les phénomènes du circuit magnétique, d'introduire la notion de résistance magnétique inductive, à l'exemple de ce qu'on fait pour le circuit électrique.

Tore fermé. — Le cas le plus simple est celui d'un noyau de fer feuilleté en forme de tore fermé.

Soient :

l la circonférence du tore, supposée très grande vis-à-vis de

s, sa section ;

N_1 le nombre de spires d'une première bobine B_1 enroulée sur le noyau ;

i_1 l'intensité du courant magnétisant traversant cette bobine ;

N_2 le nombre de spires d'une deuxième bobine B_2 ;

i_2 l'intensité du courant induit dans cette bobine ;

r_2 sa résistance ;

μ la perméabilité du noyau supposée constante.

On admet qu'il n'y a pas de flux perdu.

Si Φ désigne le flux d'induction dans le noyau, $r_m = \frac{l}{s\mu}$ la résistance magnétique du circuit, on a :

$$\Phi r_m = \frac{N_1 i_1}{V} + \frac{N_2 i_2}{V}, \qquad (1)$$

V est une constante qui dépend du système d'unités.

D'autre part :

$$r_2 i_2 = -\frac{N_2}{V}\frac{d\Phi}{dt}$$

Si on appelle M la force magnétomotrice extérieure,

$$M = \frac{N_1 i_1}{V}$$

et si on pose :

$$L_m = \frac{N_2^2}{r_2}\frac{1}{V^2},$$

l'équation (1) devient :

$$\Phi r_m = M - L_m \frac{d\Phi}{dt}.$$

Cette forme est identique à celle de l'équation qui définit l'intensité du courant dans un circuit qui possède une induction propre.

Si le courant magnétisant est sinusoïdal :

$$M = M_0 \sin \omega t.$$

on a :

$$\Phi = \frac{M_0}{\sqrt{r_m^2 + L_m^2 \omega^2}} \sin(\omega t - \delta)$$

avec

$$\operatorname{tang} \delta = \frac{L_m \omega}{r_m}$$

Le flux d'induction Φ est donc défini par les mêmes équations que l'intensité du courant provoqué par une force électromotrice sinusoïdale.

La présence de la bobine secondaire introduit dans le circuit magnétique une « résistance magnétique inductive » ou une induction propre magnétique ». Cette induction propre magnétique joue dans les équations un rôle analogue à celui de l'induction propre électrique.

Circuit avec perte de flux. — S'il y a des flux perdus, c'est-à-dire si toutes les lignes de force émises par B_1 ne traversent pas B_2, l'influence de la bobine secondaire est plus compliquée. Elle équivaut à une induction propre magnétique L_m dans l'espace intérieur à cette bobine et à une augmentation de sa résistance magnétique.

Tore avec un entrefer étroit. — Si la bobine B_2 se trouve dans un entrefer étroit, les équations sont les mêmes que dans le cas précédent : mais l'induction propre magnétique et l'augmentation de résistance ont d'autres valeurs.

Bobine dans un champ alternatif de forme quelconque. — Soit :

$$M = M_0 \sin \omega t$$

la force magnétisante, L le coefficient d'induction propre de la bobine, r sa résistance électrique, r_m la résistance magnétique de l'intérieur de la bobine. Pour la composante du flux d'induction parallèle à l'axe, la résistance apparente ou impédance magnétique est

$$r_m \sqrt{1 + \left(\frac{L\omega}{r}\right)^2}$$

Tubes minces. — La résistance inductive est

proportionnelle à l'épaisseur et à la conductibilité des parois du tube (¹).

Tubes épais. — La résistance inductive croît avec l'épaisseur des parois, mais sans lui être proportionnelle.

Cylindres pleins. — Lorsque le noyau des bobines est en fer massif, la résistance inductive est beaucoup plus grande que si le noyau est feuilleté (²).

Outre la résistance inductive, il se produit une augmentation apparente de la résistance proprement dite. Cette dernière augmentation croît lentement avec le rayon du cylindre : la résistance inductive et par suite la différence de phase entre le flux et la force magnétomotrice croissent au contraire très vite.

Disques métalliques. — L'introduction d'un disque métallique dans un entrefer augmente peu la résistance inductive ohmique et dar suite la différence de phase (³).

Applications. — Le cas du tore fermé est réalisé dans un transformateur dont le circuit secondaire est fermé sur une résistance sans induction. Le nombre de lignes d'induction perdues dans l'air augmente, comme on le sait, avec la résistance magnétique. D'après ce qui précède, les flux perdus doivent augmenter avec la charge du secondaire. C'est en effet ce que l'expérience permet de constater.

La considération de l'induction propre magnétique permet de caractériser beaucoup plus exactement l'effet d' « écran magnétique » produit par les métaux non magnétiques (⁴).

En entourant un noyau de fer soumis à un champ alternatif de plaques de cuivre, on diminue les pertes de flux : les lignes d'induction rencontrant dans ces plaques une résistance beaucoup plus grande que dans l'air, se concentrent davantage à travers le fer.

Par analogie avec ce qui se passe dans les circuits électriques, on doit admettre que dans un cylindre de fer massif, traversé par un flux d'induction sinusoïdal, l'amplitude de l'induction magnétique n'est plus uniforme dans toute la section. Elle diminue de la périphérie vers l'axe : la phase, en un point, devient aussi fonction de la distance de ce point à l'axe.

En fait, l'expérience suivante prouve qu'il en est ainsi, au moins qualitativement. Une bobine parcourue par un courant alternatif est placée sur un tube de fer ; sur ce même tube est placée une seconde bobine dont les extrémités sont reliées à un voltmètre. L'indication de ce voltmètre varie à peine quand on glisse dans le tube en fer un cylindre de fer qui le remplit exactement.

D'après les formules de Kirchhoff, la vitesse de propagation des ondes électriques dans un fil doit être d'autant plus petite que l'induction propre du fil par unité de longueur est plus

(¹) Un cylindre est formé de fils de fer fins dont la perméabilité est 1000 fois plus grande que celle de l'air et a 5 cm de diamètre : il est enveloppé d'un cylindre de cuivre de 1 mm d'épaisseur, dont la conductibilité est 12 fois celle du mercure. La fréquence du champ est 100. La résistance inductive est environ 126 fois la résistance magnétique proprement dite.

(²) Soit une bobine en forme de tore, de 5 cm de rayon intérieur : la résistance magnétique apparente du noyau plein est environ 50 fois plus grande (pour un champ de fréquence 100) que celle d'un noyau formé par des fils de fer de 1 mm de diamètre.

(³) Le tore de 5 cm de diamètre présente un entrefer dans lequel on place un disque de cuivre de même diamètre que le noyau ; la différence de phase est d'environ 45° ; elle atteint 83° si le disque a un diamètre double.

(⁴) Par exemple, considérons un anneau formé de fils de fer fins et interrompu par un entrefer étroit. Dans cet entrefer se trouvent symétriquement placées deux bobines S_1 et S_2 (fig. 1).

Devant la bobine S_1, on peut glisser un disque de cuivre ou une bobine fermée B sur elle-même.

L'introduction du disque ou de la bobine doit augmenter la résistance magnétique dans la région où ils se

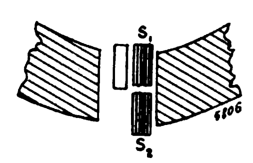


Fig. 1.

trouvent : donc le flux d'induction à travers S_1 doit diminuer : l'expérience prouve qu'il en est bien ainsi. Si le flux total dans l'anneau reste constant, le flux passant à travers S_2 doit augmenter : ce que confirme aussi l'observation.

Enfin, puisque la résistance magnétique de la plaque ou de la bobine est, au moins en partie, inductive, il doit se produire une différence de phase entre les flux passant dans S_1 et S_2. Ce décalage doit être grand relativement à la diminution de l'amplitude, quand la bobine B se trouve devant S_1.

Toutes ces conséquences se vérifient à l'aide du tube de Braun.



grande. La vitesse de propagation des ondes magnétiques doit donc être aussi d'autant plus petite dans un cylindre de fer que l'induction propre magnétique par unité de longueur est plus grande. En particulier, cette vitesse doit

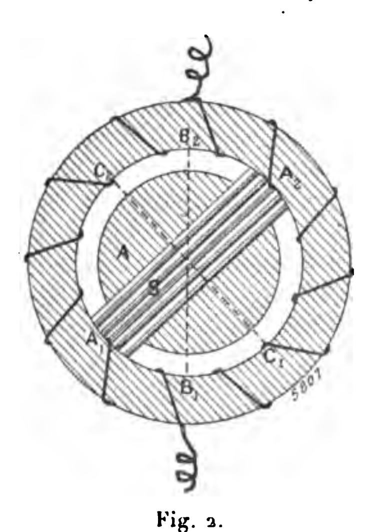


Fig. 2.

être relativement grande le long d'un cylindre formé de fils de fer fins et devenir plus petite quand ce cylindre est enveloppé d'un tube de métal, d'autant plus que l'épaisseur du métal est plus considérable [1].

Si une bobine fermée sur elle-même est placée dans un champ alternatif uniforme, de telle sorte que le plan des spires soit oblique par rapport aux lignes de force du champ, il se produit dans l'intérieur de la bobine, un champ tournant.

C'est une conséquence immédiate de l'induction propre magnétique : les deux composantes du champ, l'une parallèle, l'autre perpendiculatre aux plans des spires, acquièrent une différence de phase. L'induction propre magnétique en effet influe seulement sur la dernière.

Effectivement, on peut construire, en utilisant cette propriété, un moteur à champ tournant monophasé (fig. 2). Si la bobine S se trouve en B_1 B_2 dans la direction du champ, l'induit fermé A reste immobile. Si la bobine S est en C_1 C_2 ou en A_1 A_2, il y a rotation en sens contraire dans les deux cas.

En tenant compte seulement de l'amplitude et non de la phase, on peut dire que dans un champ alternatif, les bobines fermées, les tubes, les cylindres ou les disques métalliques se comparent comme si la perméabilité magnétique était diminuée à leur intérieur. On peut expliquer ainsi toutes les forces mécaniques auxquelles ces pièces métalliques sont soumises dans un tel champ magnétique. M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du mercredi 4 février 1903.

M. P. Janet expose les recherches faites au laboratoire de la rue de Stael, par M. **Iliovici**, sur la ***mesure des courants alternatifs intenses.***

Il rappelle que l'importance de plus en plus grande prise par les courants alternatifs dans l'industrie conduit journellement à mesurer des courants de cette nature, soit de très forte intensité, soit, au contraire, de très faible intensité, de l'ordre du $\frac{1}{10\,000}$ d'ampère, comme, par exemple, dans l'essai des pertes par effluves sur les isolateurs des lignes de transmission ; la mesure de ces derniers fera l'objet d'une prochaine communication.

Jusque vers 500 ou 600 ampères, la méthode directe, avec la balance de Kelvin, donne de bons résultats ; mais au delà, la balance, juste pour des courants continus, retarde ; l'erreur, qui paraît indépendante de la fréquence entre 25 et 60 périodes par seconde, atteint environ 4 à 5 p. 100. On a donc été conduit à étudier la méthode indirecte, d'un usage courant en industrie, et dans laquelle on mesure, non pas le

[1] Cette conséquence se vérifie à l'aide du tube de Braun ; on fait agir à angle droit sur le faisceau deux bobines enroulées sur le même noyau, et dont on peut faire varier l'écartement. L'une des bobines est traversée par un courant alternatif, l'autre seulement par les courants induits. L'image donnée par le faisceau sur l'écran est une ellipse dont la forme donne une mesure relative de l'amplitude et de la phase des deux courants.

courant intense, mais un courant plus faible, engendré par le premier au moyen d'un petit transformateur.

En théorie, les intensités efficaces primaire et secondaire sont rigoureusement proportionnelles ; mais, en pratique, il faut tenir compte de différentes causes perturbatrices :

Les métaux, qui ne sont pas parfaitement conducteurs, ne forment pas écran magnétique absolu; l'enroulement du primaire n'est jamais parfaitement régulier ; l'hystérésis, les courants de Foucault ne sont pas négligeables ; enfin, la résistance de l'appareil de mesure intercalé dans le circuit secondaire a aussi une influence marquée.

M. Iliovici a étudié toutes ces causes d'erreurs par le calcul et a vérifié par l'expérience les indications de la théorie.

La perturbation causée par les fuites s'introduit dans le calcul en supposant qu'on a ajouté à chacun des circuits, primaire et secondaire, une bobine de self-induction ; les courants de Foucault et l'hystérésis, en ajoutant un courant watté.

En supposant d'abord le fer parfait, on établit la formule

$$y = \frac{n_1 I_1}{n_2 I_2} = \sqrt{1 + \frac{R^2}{16 \pi^2 \omega^2 n_2^2} \left[\frac{r_2}{n_2}\right]^2},$$

dans laquelle la résistance r_2 du secondaire se compose de la résistance de l'enroulement et de l'appareil de mesure.

Cette formule est importante, car elle montre à première vue que les résultats sont indépendants de la résistance du primaire et de la forme du transformateur.

Si l'on remarque, en outre, que le flux maximum est donné par la formule

$$\Phi_{max} = \frac{r_2 I_2 \sqrt{2}}{n_2 \omega},$$

on peut, la courbe de perméabilité du fer étant connue, étudier comment l'erreur varie en fonction de I. Elle diminue d'abord jusqu'à un minimum qui correspond au maximum de perméabilité puis augmente à nouveau.

Ces deux formules permettent également d'étudier l'influence de la fréquence ω ; on voit qu'elle tend à diminuer l'erreur tant qu'on se trouve au-dessous du maximum de perméabilité.

On voit de même que l'erreur est d'autant plus faible que la résistance de l'appareil de mesure est elle-même plus faible.

Tout ce qui précède est établi sans tenir compte de l'hystérésis ni des courants de Foucault. L'auteur démontre ensuite que, dans un transformateur convenablement établi, dans lequel $\mathfrak{B}$ et r_2 sont faibles, leur influence est négligeable.

Pour confirmer par l'expérience les conclusions de cette étude, il fait voir qu'un même transformateur en anneau portant deux enroulements primaires distincts l'un formé d'une seule spire, l'autre formé de 15 spires, donne à l'appareil de mesure placé aux bornes du secondaire des indications identiques, qu'on emploie l'un ou l'autre des enroulements primaires.

Il expose ensuite comment on peut calculer un transformateur de ce genre, en tenant compte de la résistance de l'appareil de mesure qu'on veut employer [1]. G. P.

INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS

Section de Londres

Séance du 4 décembre 1902

Sur les limites à prévoir dans le développement des grandes industries électriques. Adresse inaugurale de **James Swinburne**, président. *Electrician*, t. L, n^os des 5, 12, 19 et 26 décembre 1902.

Le but de l'auteur est d'indiquer, pour les diverses branches de l'industrie électrique, les obstacles qui s'opposent ou pourront s'opposer à de nouveaux progrès. Il se restreint à ce qu'il appelle les grandes industries, c'est-à-dire celles qui mettent en œuvre de grands efforts ; la transmission des messages n'y est donc pas comprise. Après quelques considérations générales sur les connaissances de plus en plus étendues que doit posséder aujourd'hui l'ingénieur électricien, l'auteur commence l'examen détaillé du sujet, passant d'abord en revue les diverses sources de puissance motrice qui sont à notre disposition.

Puissance des marées. — Une installation utilisant la puissance motrice des marées au moyen de barrages et de turbines ne paraît pas pratique. Il faut remarquer d'abord qu'on ne

(1) M. de Fraz décrit ensuite le *système Sprague pour la commande des trains électriques à unités automotrices multiples.*



pourrait obtenir un débit continu avec un seul réservoir ; on disposerait donc quatre fois par jour, pendant un très court laps de temps, d'une puissance considérable, ce qui n'aurait aucune utilité. D'où la nécessité de construire plusieurs réservoirs. Mais, par rapport aux frais d'installation, la puissance obtenue serait trop minime.

Puissance des chutes d'eau. — On s'est beaucoup exagéré, il y a quelques années, les avantages à tirer des chutes d'eau ; on semblait croire qu'elles fourniraient pour rien la puissance. Il a bien fallu se rendre compte que la force des chutes d'eau n'est pas gratuite : elle exige l'immobilisation d'un capital important, dont il faut payer l'amortissement et l'intérêt.

En outre, la théorie de Riccardo sur la *rente* s'applique aussi bien aux chutes d'eau qu'à la terre arable. Si, en un lieu donné, la force motrice produite par le charbon coûte 2 centimes l'unité et qu'en ce même lieu une chute d'eau puisse la fournir à 1 centime l'unité, tous frais déduits, le propriétaire de la chute d'eau réclamera à titre de *rente* le centime économisé, ou du moins n'abandonnera à l'acquéreur qu'un bénéfice juste suffisant pour encourager une industrie nouvelle. Enfin, les chutes d'eau étant rarement situées dans les régions où elles seraient le plus utiles, les industries qui les exploitent se trouvent grevées de frais de transports supplémentaires qui compensent le bon marché de la force motrice. Les hauts fourneaux ont plus de valeur que les chutes d'eau, mais leurs propriétaires aussi réclameront la *rente* du gaz jusqu'ici perdu, de sorte qu'il n'y aura qu'un faible avantage à utiliser ce gaz plutôt qu'à le produire. Le bénéfice n'ira pas aux électriciens, mais aux métallurgistes.

Piles au charbon. — L'énergie électrique tirée directement du charbon est depuis bien des années le rêve des électrochimistes. Mais le carbone, ne formant pas d'ions, ne peut engendrer aucune force électromotrice. L'élément générateur au charbon paraît donc impossible à constituer.

Machines à vapeur. — La question capitale dans tous les moteurs thermiques est celle-ci : Entre quelles limites peut-on faire varier la température ? Dans le cas de la machine à vapeur, une grande partie de la *mutivité* (pour la définition de ce terme, voir note 1) se perd dans les carneaux de la chaudière. Alors que la combustion du carbone et de l'hydrogène peut produire une température de 1 500° C., nous n'utilisons la chaleur fournie qu'à 200° C. environ, c'est-à-dire que nous abaissons la mutivité de 0,825 environ, à 0,35, soit de 56 p. 100. Le surchauffage de la vapeur n'accroît que faiblement la mutivité, mais il est important pour réduire la condensation sur les parois du cylindre. En employant ce procédé, la limite supérieure de la température de la vapeur, pour les grandes machines modernes, est à 600° absolus environ (327° C.). Reste la ressource d'abaisser la limite inférieure. On réaliserait un gain considérable si l'on pouvait descendre jusqu'à la température de l'air ambiant, mais les dimensions de la machine et la quantité d'eau à fournir au condenseur deviendraient trop grandes. On tournerait la difficulté en employant deux corps évoluants ; une machine ainsi conçue est théoriquement possible. Le second corps doit donner une tension supérieure à celle de la vapeur d'eau à la température où il devient incommode de continuer la détente de celle-ci. L'auteur prend comme exemple l'acide sulfureux et montre qu'une seconde machine de dimensions acceptables permettrait de prolonger la détente jusqu'à une température peu supérieure à celle de l'air ambiant. Des essais qui se font actuellement en Allemagne décideront si ce perfectionnement est réalisable économiquement.

Les mêmes limites de pression s'imposent à la turbine ; peut-être même les hautes pressions y sont-elles plus difficiles à employer. Néanmoins, cette machine, où les condensations sont à peu près nulles, grâce à l'égalité sensible de la température dans toutes les parties, est presque parfaite au point de vue thermodynamique.

Un inconvénient général des machines à vapeur pour le service des stations centrales à facteur de charge peu élevé, c'est la difficulté

(1) L'auteur propose le terme *mutivité* pour désigner la convertibilité de la chaleur en d'autres formes d'énergie. Elle s'exprime par le nombre $\frac{\theta_1 - \theta_0}{\theta_1}$, θ_0 et θ_1 désignant les températures absolues entre lesquelles évolue le corps. On voit que ce nombre, toujours moindre que l'unité, désigne l'énergie recueillie par joule.

d'emmagasiner l'énergie de façon à égaliser la consommation de vapeur. C'est là un des points sur lesquels se montre la supériorité du moteur à gaz.

Moteur à gaz. — Les limites de progrès du moteur à gaz sont fixées par les difficultés de construction, qui deviennent très grandes dans le cas des moteurs puissants. Le moteur à gaz a un grand avantage théorique : l'écart des températures y est si grand que la mutivité approche de l'unité ; de plus, le rendement de la combustion, interne ou non, est très élevé. La forme idéale la plus simple du moteur à gaz est celle-ci : une machine envoie un petit volume d'air à haute pression dans un foyer, d'où elle retire un grand volume de gaz à la même pression et à très haute température ; le moteur utilise alors la détente de ces gaz jusqu'à la température ambiante. Mais une machine à mouvement alternatif ne peut fonctionner à la température de combustion du carbone et des carbures ; en outre, l'explosion des gaz fatigue beaucoup les organes mobiles. Ensuite vient la difficulté de la détente : un moteur compound serait désirable, mais le fonctionnement des soupapes y serait difficile, car la soupape d'échappement du cylindre à haute pression devrait livrer passage à des gaz dont la température serait peu inférieure à celle de l'explosion. On ne peut pas manquer cependant de voir apparaître le moteur compound lorsque les moteurs à gaz, ayant définitivement conquis leur place, se feront une concurrence sérieuse. On perd en effet dans les moteurs actuels une telle quantité d'énergie par l'échappement que la mutivité s'abaisse à 0,4, tandis qu'elle serait de 0,86 si la détente se prolongeait jusqu'à la température ambiante, la température supérieure étant d'environ 2 000° absolus. Les difficultés de construction détruisent donc en grande partie les avantages du moteur à gaz au point de vue thermodynamique. Il est probable, cependant, que dans peu d'années, ce moteur aura remplacé la machine à vapeur pour les grandes puissances [1].

Dynamos. — En ce qui concerne le rendement, la limite pratique est déjà atteinte. Il en est de même pour le rapport entre la puissance et les dimensions : on est arrêté par les pertes hystérétiques dans le fer, qui empêchent d'employer une induction plus élevée. En ce qui concerne les dynamos et les moteurs, il semble donc qu'il n'y ait plus désormais de grands progrès possibles.

Transformateurs à courants alternatifs. — Depuis dix ans déjà, ces appareils ne laissent guère de place aux perfectionnements.

Accumulateurs. — Un perfectionnement à ces appareils provoquerait sans doute de grands changements dans plusieurs branches importantes de l'électrotechnique. Dans les éléments à électrolyte acide, le plomb est en pratique la seule matière qu'on puisse employer pour les électrodes. Le fer et le zinc ne conviennent pas, parce qu'ils forment des sels solubles dans l'acide sulfurique. Mais, dans un électrolyte alcalin, les métaux comme le fer, le nickel, le cobalt et le cuivre forment des oxydes insolubles. L'avenir de ce type d'accumulateur est encore incertain.

Câbles. — Si le conducteur lui-même ne peut guère être perfectionné, il n'en est pas de même de l'isolation ; or, c'est elle qui nous fixe la limite des tensions et par suite des distances de transmission. Aucune industrie électrique n'est aussi importante que la fabrication des câbles ; aucune cependant n'est conduite moins scientifiquement. Les ingénieurs ne savent pas si le caoutchouc vaut mieux que le papier, ils ne peuvent pas dire ce qu'un câble de telle fabrication sera devenu après dix ans d'usage. Nous ne savons même pas essayer un câble : tantôt nous procédons comme pour un fil de télégraphe, tantôt nous prenons comme tension d'essai le double de la tension normale, et, s'il n'y a pas de rupture, nous croyons n'avoir causé au câble aucune avarie et le jugeons prêt à la pose.

Pour les conducteurs nus aériens, la limite de la tension est assez nettement définie : quand l'effort diélectrique à la surface extérieure du

[1] La meilleure façon de tirer du moteur à gaz un bon rendement serait de le faire compound, en utilisant la chaleur des gaz évacués pour produire de la vapeur d'eau. L'évacuation de la machine à vapeur fournirait à son tour la chaleur nécessaire pour produire de la vapeur d'acide sulfureux. Mais il est probable que le gaz de gazogène pourra s'obtenir à si bas prix que les moteurs auxiliaires à vapeur et à acide sulfureux n'auront plus d'avantage économique. Avec le gaz à très bon marché, la première condition est de construire de grands moteurs, la deuxième de les construire assez robustes pour écarter toute chance d'arrêt accidentel, la troisième, de leur donner un bon rendement.



câble excède le pouvoir isolant de l'air, il se produit des décharges qui causent des pertes considérables. On peut réduire cet inconvénient en accroissant la section des conducteurs ; on emploiera donc avec succès, pour les transmissions aériennes à très haute tension, l'aluminium ou même le zinc ou une combinaison des deux.

Condensateurs. — La capacité statique des réseaux de distribution et l'avance du courant sur la tension qui en résulte font que les condensateurs ne présentent plus grand intérêt aujourd'hui. L'auteur, il y a dix ou douze ans, a préconisé l'emploi des moteurs synchrones surexcités pour contrebalancer les courants décalés en arrière. Ce procédé, très répandu aujourd'hui, restreint encore le champ d'application des condensateurs.

Lumière. — La production de la lumière a été, jusqu'en ces derniers temps, l'industrie principale des électriciens. Ici la perte d'énergie est énorme et, quoiqu'elle soit en grande partie inévitable, il y a place pour d'importants perfectionnements. Mais tandis qu'on veille de très près à tous les détails d'exploitation de la station centrale, on reste absolument indifférent aux économies qui pourraient être réalisées dans la consommation des appareils récepteurs de l'abonné. Une bougie, qui donne un éclairement de 4π, rayonne environ 0,2 watt, il faut donc 5 bougies pour avoir un rayonnement de 1 watt, c'est-à-dire qu'à un rendement égal à l'unité on aurait 5 bougies par watt. Or le rendement d'une lampe à incandescence est seulement de 0,25 bougie par watt, soit 0,05. L'idéal, évidemment, serait la production de la lumière sans accompagnement de chaleur ; c'est à quoi réussit, semble-t-il, la mouche à feu des régions tropicales. Il n'y a pas de raison thermodynamique pour que l'énergie électrique ne puisse être convertie directement, sans pertes, en radiations d'une longueur d'onde donnée. Le tube à vide paraît être un moyen d'y parvenir ; la lampe Cooper-Hewitt, par exemple, donne 3 bougies par watt, soit un rendement de 0,6. Malheureusement sa lumière est d'une mauvaise couleur.

L'arc électrique. — La physique de l'arc électrique est d'une étude très difficile et n'a pas encore reçu d'attention assez systématique. Le cratère de l'arc est, sans aucun doute, porté à la température de volatilisation du carbone sous la pression atmosphérique, mais bien des questions connexes attendent encore une réponse, par exemple : si la température de l'arc est limitée par la vaporisation du carbone, quelle doit être la chaleur spécifique de cette vaporisation ? Où va cette vapeur de carbone, et que devient-elle dans une lampe à arc enfermé ? En se condensant en fumée, elle devrait donner une lumière de même couleur que celle du cratère. — Si sa chaleur spécifique est énorme, elle devrait élever la température de l'autre pôle jusqu'à celle du cratère, à laquelle elle se condense, etc. [1].

La lampe à incandescence. — Ce simple filament de carbone renfermé dans une ampoule de verre donne lieu aux phénomènes physiques les plus complexes. La lampe à incandescence étant un radiateur à chaud, la limite de son rendement dépend principalement de la température du filament. On ne peut guère employer une tension de moins de 100 volts, à cause du coût des canalisations, ce qui oblige à recourir au carbone ou à une substance encore plus résistante. Les tensions élevées, qui nécessitent des filaments longs et minces et donnent lieu à des décharges invisibles, sont nuisibles aux lampes, mais leur avantage pour la distribution compense cet inconvénient. La limite du rendement, dans les lampes à incandescence, est due surtout aux variations de tension : le carbone commence à se ramollir à la température ordinaire du filament, aussi une lampe qui donnerait 1/3 de bougie ou 1/2 bougie par watt à différence de potentiel uniforme, n'en donne qu'un quart dans

(1) L'arc électrique peut-il transformer directement l'énergie en lumière sans passer par l'intermédiaire de la chaleur ? L'arc en vase clos semble nous donner quelque chose de ce genre, il paraît émettre plus de lumière que l'arc nu ; mais son rendement est fort réduit par le dépôt et les globes. Des vapeurs portées à haute température comme celles des sels métalliques dans le bec Bunsen émettent de la lumière par action directe, non à cause de leur température, mais en vertu de quelque changement chimique, et ceci est vrai aussi des vapeurs dans le vide et sans doute des vapeurs dans l'arc. Dans un arc en vase clos, la vapeur de carbone, au lieu de se combiner avec l'oxygène, se condense peut-être d'abord à la température du cratère, formant autour de l'arc une enveloppe lumineuse. En mélangeant au carbone des sels convenables, nous pourrons donc probablement convertir directement l'énergie électrique en radiations lumineuses et nous rapprocher ainsi de la limite théorique, d'environ 5 bougies par watt.



les conditions de la pratique. On a proposé d'autres substances que le carbone. Les métaux ont une résistance spécifique trop basse, mais l'idée d'employer des carbures trouve depuis quelque temps beaucoup de faveur. Cependant les difficultés pratiques sont très grandes. Il semble d'ailleurs que les points de fusion des corps les plus réfractaires ne dépassent jamais 3000° absolus.

Au lieu d'un conducteur ordinaire, Nernst emploie un électrolyte, qui peut supporter une température plus élevée. Le rendement de la lampe Nernst est d'environ 0,6 bougie par watt. On a pu supposer qu'elle transformait directement l'énergie électrique en radiations lumineuses ; l'auteur ne croit pas qu'il en soit ainsi. Par la température élevée qu'elle supporte et la haute tension à laquelle elle fonctionne, la lampe Nernst a marqué un progrès vers les limites théoriques, sans toutefois en approcher. La difficulté est d'obtenir une substance qui soit bonne conductrice à une température assez basse et qui puisse aussi supporter une température élevée.

Chauffage électrique. — La limite de cette application est purement économique. Convertir la chaleur en énergie avec un très faible rendement, transmettre cette énergie par des canalisations coûteuses et la retransformer ensuite en chaleur, revient évidemment à un prix bien plus élevé que la combustion directe du charbon ou du gaz. Cependant, pour la cuisine et d'autres usages domestiques, le chauffage électrique est si commode qu'il pourra se développer notablement. Le four est de beaucoup l'application la plus importante du chauffage électrique ; on y obtient des températures qui ne sont limitées que par la volatilisation des électrodes et qu'on ne peut réaliser dans aucun autre appareil. On ne peut dire quelles sont les limites d'emploi du four électrique ; la température y est probablement bornée par la volatilisation du carbone ; quant aux produits qu'on peut y obtenir, ce ne sont pas seulement les composés endothermiques : le four s'applique aussi à la réduction des métaux et du phosphore et à la fonte du verre.

Traction. — L'avenir des chemins de fer, tramways et automobiles électriques ne peut être qu'un objet de conjectures, à cette époque où leur développement ne fait que commencer. On peut cependant examiner quelles sont aujourd'hui les difficultés les plus apparentes. Sur les petites lignes à arrêts fréquents, les démarrages nuisent au rendement. Sur les grandes lignes, la transmission et la transformation de l'énergie sont coûteuses. Ce qui nous manque surtout, c'est un appareil permettant de faire varier la vitesse et convenant aux grandes puissances. Le système Ward Leonard donne une solution, mais il est coûteux et d'un rendement médiocre. On a proposé récemment l'emploi de courants alternatifs de basse fréquence et de moteurs-série à inducteurs feuilletés. Ceci résout la difficulté, mais au prix de courants déwattés intenses, de transformateurs coûteux et à bas rendement et des inconvénients ordinaires du moteur-série sur une distribution à différence de potentiel constante.

Electrolyse. — Ici encore les limites sont difficiles à définir. Les premières applications industrielles de l'électrolyse ont été le raffinage du cuivre et la production de la soude caustique. Il nous faut absolument un nouveau moyen d'emmagasiner et de transporter le chlore : les récipients d'acier et les appareils à compression ne donnent pas une solution satisfaisante du problème. Les obstacles que nous rencontrons dans l'électrolyse du sel fondu ne tiennent d'ailleurs qu'à des difficultés pratiques, dont l'une est l'attaque de la cuve par la vapeur de sodium. L'auteur est convaincu que dans un avenir prochain le sodium électrolytique s'obtiendra dans le commerce à un prix très abordable.

L'électrolyse des solutions commence à être appliquée en métallurgie pour les métaux d'une certaine valeur, comme le cuivre et le nickel. La réaction du chlore sur les sulfures métalliques aux températures élevées nous permet de disposer de toute la série des minerais sulfureux, qui comprennent entre autres les sulfures combinés de zinc et de plomb, communs en Amérique et en Australie. Il est regrettable que l'industrie minière ne se soit pas encore rendu compte de la valeur de ce procédé.

Tels sont, dit l'auteur en terminant, les divers obstacles qui nous barrent aujourd'hui la route ; c'est aux électriciens de franchir les uns et de tourner les autres.

P. L.

Le Gérant : C. NAUD.



Tome XXXIV Samedi 28 Février 1903. 10e Année. — N° 9

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

RECHERCHES
SUR L'ARC ALTERNATIF DE TRÈS FAIBLE INTENSITÉ
JAILLISSANT ENTRE ÉLECTRODES MÉTALLIQUES

Les importantes applications de l'arc entre charbons à l'éclairage et à la production des hautes températures ont attiré de bonne heure l'attention des chercheurs désireux de se rendre un compte exact du fonctionnement de ce précieux auxiliaire. Aussi l'arc entre charbons a-t-il fait l'objet de nombreux travaux et malgré la complexité de ce phénomène, l'on est parvenu à élucider, du moins dans ses traits principaux, le mécanisme de sa production et à déterminer les conditions électriques presque complètes de son fonctionnement.

Par contre, l'arc de *très faible intensité*, particulièrement lorsqu'il est produit entre électrodes métalliques, a été jusqu'ici presque totalement délaissé et pourtant ce genre d'arc est fort intéressant par ses propriétés chimiques. Nous avons donc entrepris une étude aussi comparative que possible des conditions électriques de son fonctionnement [1].

[1] Nous donnons ci-après un court résumé bibliographique fait par l'un de nous des principaux travaux antérieurs effectués sur l'arc entre électrodes métalliques.

Déjà, en 1840, nous trouvons quelques recherches de Grove faites avec le courant continu sur l'arc électrique, entre des électrodes métalliques (Grove, *Phil. Mag.*, t. XVI, p. 480, 1840).

Cet expérimentateur rangea les métaux suivant l'éclat et la longueur de leurs arcs dans l'ordre ci-après :

K. Na. Zn. Hg. Fe. Sn. Pb. Sb. Bi. Cu. Ag. Au. Pt.,

l'arc à la fois le plus grand et le plus lumineux étant celui du potassium. — M. A. de la Rive étudia l'influence de la température des électrodes et trouva que l'arc se forme plus facilement et qu'il peut être plus long, si l'on chauffe les électrodes métalliques. — Puis, MM. Fizeau et Foucault ont fait des recherches sur l'influence de la forme des électrodes et après eux MM. van Breda et Matteucci, sur la perte de poids des électrodes. (Wiedemann, *die Lehre*

I. — Expériences [1]

Expériences préliminaires. — 1° Nous avons effectué d'abord une première série d'expériences préliminaires sur l'influence de la pression, en expérimentant avec des électrodes de cuivre. Ces expériences sont résumées dans la figure 2.

Les courbes de la fig. 2 montrent les variations de tension pour deux intensités de courant maintenues constantes ($I = 0{,}041$ ampère et $I = 0{,}058$ ampère) et pour des longueurs d'arc comprises entre 3 et 8,7 mm.

Les variations de voltage, résultant d'une variation de pression sont comme on le voit moins sensibles pour les petites distances que pour les grandes.

---

von der Electricitæt, t. IV, 2 février 1885). — En 1868, M. Edlund détermina pour le cuivre la force électromotrice au-dessous de laquelle il est impossible de réaliser un arc. Comme on sait, il nomma cette partie de la chute totale du potentiel dans l'arc « force contre-électromotrice » de l'arc; c'est depuis cette époque que s'est engagée une longue discussion pour savoir s'il existe dans l'arc un phénomène analogue à la polarisation des piles. Comme toutes ces recherches sont faites avec des électrodes en charbon, nous ne les indiquons pas ici. (Edlung, *Poggendorff's Annalen*, t. CXXXI, p. 586-607 ; t. CXXXIII, p. 353-363 ; t. CXXXIV, p. 250-264, 1868).

En 1887, M. von Lang détermina, d'après la méthode d'Edlund, la force contre-électromotrice pour le Cd. Zn. Ag. Cu. Fe. Pt. Il arriva à la conclusion que la valeur de cette soi-disant force contre-électromotrice est d'autant plus grande que le point de fusion du métal est plus élevé. Il mentionne alors comme seule exception l'argent et plus tard, en 1897, l'aluminium. (Von Lang, *Wiedemann's Annalen*, t. XXXI, p. 384, 1887).

En 1887, M. Lecher, étudia l'influence de la température des électrodes métalliques sur la chute du potentiel dans l'arc et trouva que la chute du potentiel est plus grande, si l'on chauffe les électrodes que si l'on facilite leur refroidissement. Il signala également que dans l'arc à courant continu, entre électrodes de platine ou de fer, la décharge avait un caractère discontinu (Lecher, *Sitzungsberichte der K. Academie Wien*, t. XCV-II *a*, p. 992-1010, 1887).

En 1892, M. Arons fit des recherches sur l'arc entre deux électrodes de mercure. Plus tard, entre des amalgames. Il constata en 1896 que l'arc à courant continu ne se rallume pas si l'on rétablit le courant immédiatement après l'extinction de l'arc. Le milieu gazeux qui entoure les électrodes métalliques semble donc perdre très rapidement, après l'extinction, toute sa conductibilité, tandis que pour le charbon il n'en est pas ainsi (Arons, *Wiedemann's Annalen*, t. XLVII, p. 767, 1892 ; t. LVIII, p. 73, 1896 ; t. LVII, p. 185-200, 1896). En effet, Wartmann, en 1857, avait réussi à rétablir l'arc entre charbons sans contact préalable des électrodes en mettant le courant 1/25 de seconde après l'extinction (Wartmann, *Arch. des Sc. phys. et nat.*, t. XXXVI, p. 325, 1857). En 1898, M. Bredig trouva que dans l'arc jaillissant sous l'eau, entre des électrodes métalliques, le métal est pulvérisé et reste en suspension sous la forme d'un nuage coloré (Bredig, *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. IV, p. 514, 1898). Plus tard, M. Arons a étudié quelques propriétés de l'arc entre électrodes métalliques dans une atmosphère d'azote et d'hydrogène à différentes pressions (*Drude's. Ann.*, t. I, p. 700, 1900). — M. Cheneveau, en 1899, et M. Child, en 1900, ont constaté l'existence de charges électriques dans les vapeurs de l'arc et la présence de ions (Cheneveau, *Éclairage Électrique*, t. XX, p. 402-404, 1899; Child. *Physical Review*, t. X, p. 151-160, 1900; et t. XII, p. 137-150). — M. Dufour étudia l'émission par l'arc de radiations actino-électriques (*Bullet. dela Soc. vaudoise* (4), t. XXXIV, p. 37, 1901). — L'application de la théorie des ions à l'arc se trouve particulièrement développée dans les ouvrages de MM. J.-J. Thomson et de M. Stark (J.-J. Thomson, *Les décharges dans les gaz ;* Stark, *die Electricitæt in Gasen*, 1902). Quant à l'emploi du *courant alternatif* dans les recherches sur l'arc entre électrodes métalliques, M. Zuchristian, en 1893, fut guidé par des considérations théoriques à conclure que l'arc ne peut persister au-dessous de 200 volts. Il le prouva par l'expérience et ce résultat fut confirmé par Wurts en 1893 et Sahulka en 1894. Il attribuait cette impossibilité de maintenir l'arc à courant alternatif entre électrodes métalliques à basse tension, à la bonne conductibilité des métaux pour la chaleur et à l'extinction qui se produit à chaque demi-période (Zuchristian, *Sitzungsberichte der K. Akademie Wien*, t. CII-II *a*, p. 567, 1893).

M. Arons, en 1896, arrivait aussi à la même conclusion et ajoutait à l'explication de ce phénomène le fait que les électrodes métalliques se couvrent d'une couche d'oxyde de mauvaise conductibilité. M. Arons indique aussi qu'il n'est possible de maintenir l'arc à courant alternatif entre des électrodes métalliques, que si la tension disponible est assez élevée pour produire pendant chaque extinction une étincelle susceptible de rallumer l'arc. Cette condition se trouvait toujours réalisée dans nos recherches.

[1] Nous avons utilisé dans nos recherches le courant alternatif transformé de la ville de Genève (47 périodes par seconde). Cette transformation était effectuée au moyen d'une bobine d'induction de Carpentier ayant 256 tours de fil de cuivre primaire d'une section 6,25 mm² et 78 000 tours de fil secondaire de 0,02 mm² de section.

La résistance du primaire était à froid de 0,135 ohm ; celle du secondaire 22 510 ohms.

On pouvait régler l'intensité du courant aux électrodes par un rhéostat intercalé dans le primaire.

L'intensité du courant secondaire était mesurée par un ampèremètre thermique de Hartmann et Braun (0,2 ampère



En outre, aux environs de la pression atmosphérique, les petites variations de pression, qui peuvent se produire au cours d'une expérience, sont la plupart du temps négligeables; la correction qui en résulterait est le plus souvent de l'ordre de grandeur des erreurs d'expérience (¹).

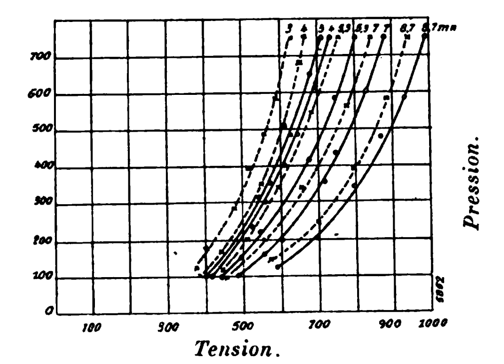


Fig. 2. — Variation de la différence de potentiel avec la pression pour diverses longueurs d'arc et deux valeurs de l'intensité.

2° Une seconde série d'expériences préliminaires a porté sur la puissance consommée dans l'arc jaillissant entre électrodes de cuivre.

Nous avons expérimenté également sur deux intensités de courant 0,058 et 0,041 et pour des longueurs d'arc comprises entre 3 et 10 mm.

On voit (fig. 3) que la puissance consommée dans l'arc, entre électrodes de cuivre, croit proportionnellement à l'accroissement de la longueur. Nous avons donc là un résultat tout à fait analogue à celui trouvé par Mme Ayrton pour l'arc entre charbons homogènes à courant continu d'intensité moyenne et, d'autre part, à celui signalé par Heubach pour l'arc à courant alternatif d'intensité moyenne, également entre charbons.

Dans la figure 3 les deux lignes ponctuées représentent pour nos expériences les volts-ampères; il est donc facile de calculer le facteur de puissance en comparant ces lignes aux lignes pleines; pour l'intensité 0,041, le facteur de puissance varie de 0,57 à 0,63 si la longueur de l'arc passe de 3 mm à 10 mm.

3° Enfin une troisième série d'expériences préliminaires est relative à l'influence de la pression du gaz sur la puissance consommée dans l'arc, toujours entre électrodes de cuivre.

---

maximum); la tension aux bornes de l'arc était indiquée par un voltmètre électrostatique de faible capacité (dispositif de MM. Blondlot et Curie, (*Journal de Physique*, t. VIII, p. 80, 1889), qui nous permettait de faire des lectures précises entre 200 et 800 volts.

Pour les voltages plus élevés nous nous sommes servi d'un voltmètre électrostatique, à lecture directe, de faible capacité de Hartmann et Braun avec une échelle de 1 000 à 2 000 volts.

Le dispositif électrique est représenté figure 1.

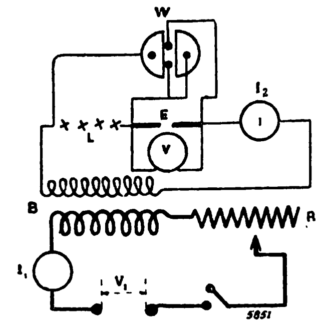


Fig. 1. — Dispositif expérimental.

Les électrodes, toutes de même diamètre (5 mm), étaient fixées sur un porte-étincelles monté sur une plaque d'ébonite ; un dispositif convenable permettait de régler leur distance et de les centrer exactement.

On déterminait la distance des électrodes en plaçant le porte-étincelles sur le chariot d'une machine à diviser, dont la vis permettait la lecture du millième de millimètre.

La différence entre trois lectures successives ne dépassait pas 0,02 mm maximum.

Les indications de la distance des électrodes, qui se trouvent dans ce travail, sont en général la moyenne de 6 lectures, dont 3 faites avant l'expérience et 3 après.

Afin de simplifier autant que possible les conditions de fonctionnement et surtout pour éviter les courants d'air qui nuisent considérablement à la stabilité de l'arc, le porte-étincelles était placé sur la platine d'une machine pneumatique et recouvert d'une cloche rodée. Grâce à ce dispositif il était possible d'opérer dans une atmosphère desséchée. A cet effet, la cloche était munie de deux tubulures dont l'une était en communication avec un manomètre à mercure et l'autre en rapport avec trois flacons laveurs, remplis d'acide sulfurique.

Après avoir fait le vide dans la cloche, l'air atmosphérique était réintroduit très lentement au travers des flacons laveurs et les électrodes se trouvaient ainsi dans une atmosphère desséchée de pression connue ; on pouvait alors commencer les premières expériences.

(¹) D'après les expériences de MM. Duncan, Rowland et Todd, le voltage dans l'arc (dans d'autres conditions il est vrai) monte de 5 p. 100 si la pression passe de 1 à 2 atmosphères.

Les courbes de la figure 4 montrent que cette influence est très peu sensible, si les variations de pression sont faibles et les arcs courts. Elles ont été effectuées pour des longueurs d'arc comprises entre 4 et 7 mm.

Expériences définitives. — Cette première partie du travail achevée, nous avons abordé l'étude que nous nous proposions, c'est-à-dire rechercher d'une façon plus complète et plus comparative qu'on ne l'a fait jusqu'à ce jour, la relation qui unit la tension aux bornes, la distance des électrodes et l'intensité du courant pour les différents métaux.

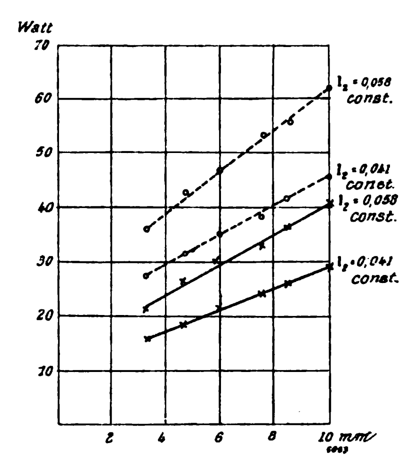


Fig. 3. — Puissance consommée dans l'arc entre électrodes de cuivre pour divers écarts et deux valeurs de l'intensité.

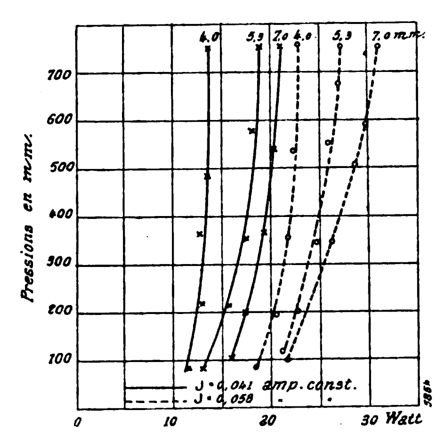


Fig. 4. — Influence de la pression sur la puissance consommée.

Nous avons opéré d'abord dans l'air. Après quelques moments de fonctionnement, la cloche se remplit alors de vapeurs rouges de peroxyde d'azote, provenant probablement de la formation de bioxyde sous l'influence du passage du courant. Cette réaction chimique de l'arc est d'ailleurs bien connue; Cavendish l'avait signalée déjà et Crookes avait attiré l'attention du public sur l'importance économique de cette réaction pour la fabrication de l'acide nitrique et des nitrates; enfin, M. W. Ramsay l'a utilisée pour séparer l'argon de l'azote.

La durée de nos expériences ne dépassait guère 15 minutes et sous la double influence de la chaleur dégagée d'une part et de la formation des oxydes d'azote d'autre part (ces actions agissant en sens inverse), la pression sous la cloche n'augmentait guère que de 10 mm de mercure, soit approximativement 1/73 ; il n'était donc pas nécessaire de faire des corrections aux lectures de la tension du fait de cette augmentation de pression, ainsi que nos expériences préliminaires l'avaient montré. Quant à la quantité de peroxyde d'azote, elle était sensiblement la même dans toutes les expériences.

Les nombreuses recherches faites par Mme Hertha Ayrton sur l'arc entre charbons à courant continu d'intensité moyenne ont montré que la tension aux bornes de l'arc en fonction de la longueur est représentée par une ligne droite.

Des résultats analogues ont été constatés pour l'arc alternatif par MM. Heubach, 1892, et M. Zuchristian, en 1893, pour des arcs compris entre 3 et 30 ampères. Il n'était donc pas sans intérêt de rechercher s'il en était encore de même pourl es arcs de grande longueur et de très faible intensité que nous utilisions.

Les premières expériences ont porté sur le cuivre. La distance initiale des électrodes



était de 10 mm. En maintenant le courant constant et en diminuant la distance de millimètre en millimètre jusqu'à 3 mm, nous avons constaté que les points observés restent en ligne droite. Mais si l'on diminuait encore la distance, par exemple de 3 à 2 mm au lieu d'observer une diminution de voltage, on constatait au contraire une augmentation subite de la tension. Bien plus, il arrivait souvent que cette tension était alors suffisante pour produire à l'intérieur du voltmètre électrostatique un flux d'étincelles plus ou moins espacées, de sorte qu'on ne parvenait plus à faire des lectures de voltage avec quelque sécurité.

Le même phénomène se produisait, de façon plus ou moins accentuée, pour toutes les distances comprises entre o et 3 mm. Mais pour le cuivre et dans les conditions des expériences, c'était à la distance de 1,7 mm que ce flux d'étincelles au voltmètre était le plus marqué.

En même temps que ce phénomène se produisait, le son rendu par l'arc se modifiait. Dans la période facilement accessible aux mesures, que nous appellerons pour abréger *zone de l'arc normal*, l'arc n'est pas tout à fait silencieux. Il s'y produit un léger bourdonnement dû probablement à l'alternance du courant. Mais si l'on diminue la distance, le bourdonnement est remplacé par un son de plus en plus aigu et crépitant, indiquant qu'il se produit alors une modification dans la nature de l'arc, modification qui ne paraît pas complètement analogue au phénomène de l'arc sifflant.

Il est intéressant de remarquer que même en expérimentant dans la zone normale de l'arc, la seule présence du voltmètre suffit à modifier un peu le son de l'arc ; la capacité de l'instrument en est probablement la cause.

S'agit-il ici d'un phénomène analogue à celui de l'arc chantant [1] dans lequel la présence d'une self-induction et d'une capacité branchée en série aux bornes de l'arc, produit un courant de résonance, dont la périodicité est donnée par la relation :

$$n = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

C'est fort possible, mais il est difficile de l'affirmer d'une façon catégorique, car dans nos expériences la capacité du voltmètre est très petite et la self-induction se réduit à celles des fils qui unissent le voltmètre aux bornes de l'arc ; la périodicité de ce courant de résonance correspondrait à un son de 2 n vibrations à la seconde, probablement assez voisin de la limite des sons perceptibles et dans tous les cas très aigu et très faible.

Nous reviendrons plus loin, avec quelques détails, sur la transformation qui se produit dans l'arc de faible intensité, si l'on diminue la distance des électrodes (au-delà de 3 mm pour le cuivre dans l'air); et, pour abréger, nous appellerons *zone critique* cette région de fonctionnement que l'on observe si, toutes conditions égales, on diminue la distance des électrodes au delà d'une certaine valeur.

Indépendamment de ces deux zones de fonctionnement (zone de l'arc normal et zone critique), on peut en ajouter une troisième, que nous appellerons, pour abréger, *zone d'instabilité* que l'on atteint rapidement, si en maintenant l'intensité constante on allonge de plus en plus l'arc. Dans cette région, comme dans la première, les mesures du voltage deviennent incertaines par suite des interruptions (extinctions et allumages) qui caractérisent cette région de fonctionnement.

---

[1] Duddell, *The Electrician*, t. XLVI, p. 269; 1900.

En résumé, par motif de clarté, nous distinguerons dans le fonctionnement des arcs de faible intensité, que nous avons étudiés, trois zones :

1. Zone instable (arcs longs) ;
2. Zone de fonctionnement normal ;
3. Zone critique (arcs très courts).

Zone instable. — Lorsque la distance des électrodes de cuivre est suffisamment grande (13 mm par exemple), l'arc présente une grande instabilité et ne dure souvent que quelques instants. On remarque alors que l'une des extrémités commence à s'élever et à grimper sur la partie conique des électrodes dans la direction de la base, comme le représente la figure 5. Quelques instants plus tard, l'arc atteint même la partie cylindrique des électrodes; d'autres fois l'extrémité de cet arc semble se subdiviser sur l'une des électrodes en plusieurs branches (fig. 6). Cette apparence prouve que l'arc change presque à chaque

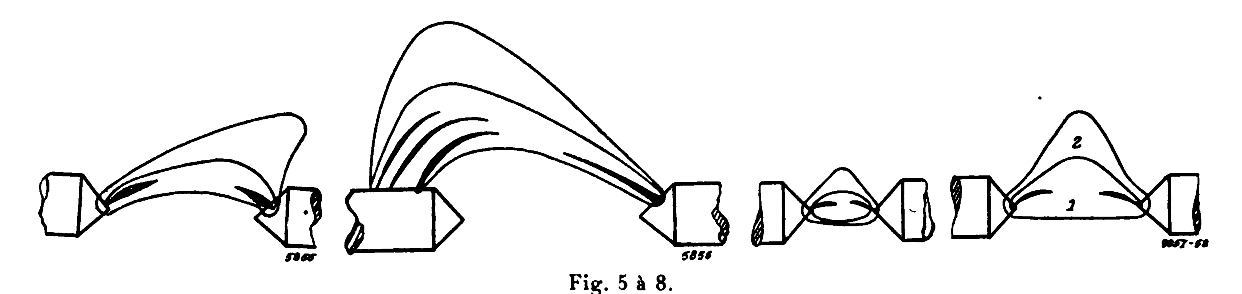


Fig. 5 à 8.

instant de position et de longueur. La distance des électrodes n'est plus alors la mesure de la longueur de l'arc ; l'arc est toujours plus grand que la distance mesurée entre les électrodes, et il devient difficile, sinon impossible, d'établir une relation entre la longueur de l'arc et la tension nécessaire pour l'entretenir.

En outre, l'arc est toujours en mouvement et cette instabilité se traduit naturellement sur les indications du voltmètre, dont l'aiguille ne cesse d'osciller entre des limites assez larges, de sorte qu'il est impossible de faire des lectures précises.

La frontière entre la zone normale et la zone instable n'est d'ailleurs pas tranchée ; dans nos expériences, on ne peut la préciser au dixième de millimètre, et cela tient à la complexité même du phénomène et à l'influence des causes perturbatrices, telles que courants d'air, convection, etc.

Cependant, dans les diagrammes 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, l'arc était franchement instable à une distance qui surpasse d'un millimètre au maximum celle du dernier point observé dans la zone normale.

Zone normale. — La nature de l'arc se prête alors très bien à des mesures précises ; l'apparence de l'arc entre électrodes de cuivre est représentée par les figures 7 et 8. On voit qu'à intensité de courant égale, la grandeur de l'auréole augmente avec la distance. Les petits cônes qui forment l'extrémité des électrodes sont généralement alors portés à l'incandescence. Dans l'arc même, on peut distinguer trois parties, deux filaments violets qui semblent partir des pointes. Ces filaments violacés sont entourés d'une atmosphère lumineuse 1, dont la couleur est d'un violet très clair. Au-dessus on remarque une atmosphère lumineuse 2, qui a une couleur brun jaunâtre. Ces couleurs sont sensiblement les mêmes pour le cuivre, l'argent, le platine, l'or, le fer, le nickel et le zinc ; comme on l'a remarqué déjà, les couleurs caractéristiques des différents métaux sont peu sensibles dans les arcs de faible intensité.



Celles que M. Arons a décrites se rapportent à des courants relativement beaucoup plus intenses. Toutefois, pour l'aluminium et le magnésium, les filaments lumineux qui émanent des pointes et l'atmosphère illuminée avaient une couleur plutôt verdâtre.

II. — Résultats des expériences dans l'air sec

Les recherches ont porté sur le Cu, Ag, Au, Pt, Ni, Fe, Cd, Mg, Al et le charbon homogène. Les électrodes métalliques avaient un diamètre de 5 mm, celles du charbon un diamètre de 4 mm, par exception.

Les résultats des mesures sont indiqués dans les tableaux suivants et représentés graphiquement dans les diagrammes (fig. 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18).

Dans ces diagrammes les lignes pleines sont relatives à la zone normale, les lignes ponctuées montrent l'allure des *indications* du voltmètre dans la zone critique.

En outre, dans les tableaux, les astérisques indiquent l'impossibilité de faire des lectures au voltmètre dans la zone critique, à cause des étincelles dont nous avons parlé; les tirets indiquent également l'impossibilité de lire le voltage avec précision, à cause de l'instabilité de l'arc.

1. *Cuivre*. (Fig. 9. Tabl. 1). — Les électrodes en cuivre se couvrent d'une couche noire d'oxyde de cuivre. A la pointe même, où se trouve, pendant que l'arc brûle, le cône incandescent, on ne peut pas constater que les électrodes se soient noircies. Elles ont gardé leur aspect métallique ; la température y est probablement suffisante pour réduire l'oxyde de cuivre, qui a pu se former à température plus basse.

La zone normale s'étend de 3 mm à 11 mm pour 0,03 à 0,06 amp.

Tableau n° 1. — *Cuivre. Air sec.*

Distance	Valeurs du voltage pour une intensité constante de :			
	0,03	0,04	0,05	0,06
0,26 mm	*	*	*	*
0,94 »	*	*	*	*
1,68 »	*	*	*	*
2,5 »	*	*	*	*
3,2 »	800	700	665	615
3,8 »	875	775	710	665
4,2 »	900	800	750	710
4,9 »		875	800	760
6,8 »	1 150	1 050	990	920
8,2 »	1 300	1 190	1 110	1 060
7,36 »	1 200	1 100	1 050	1 000
9,1 »	1 400	1 265	1 200	1 150
9,7 »	1 475	1 340		1 200
10,0 »	1 500			1 240
10,5 »	1 540	1 425	1 350	1 300
11,0 »	—	—	—	—
12,0 »	—	—	—	—

* indique : zone critique.
— indique : zone instable.



2. *Argent.* (Fig. 10. Tabl. 2). — Les électrodes se couvrent également d'une couche noire. La zone normale est comprise entre 3 et 11 mm et pour les intensités plus élevées, elle s'étend même jusqu'à 2,5 mm. En tout cas elle semble être à peu près égale à celle du cuivre.

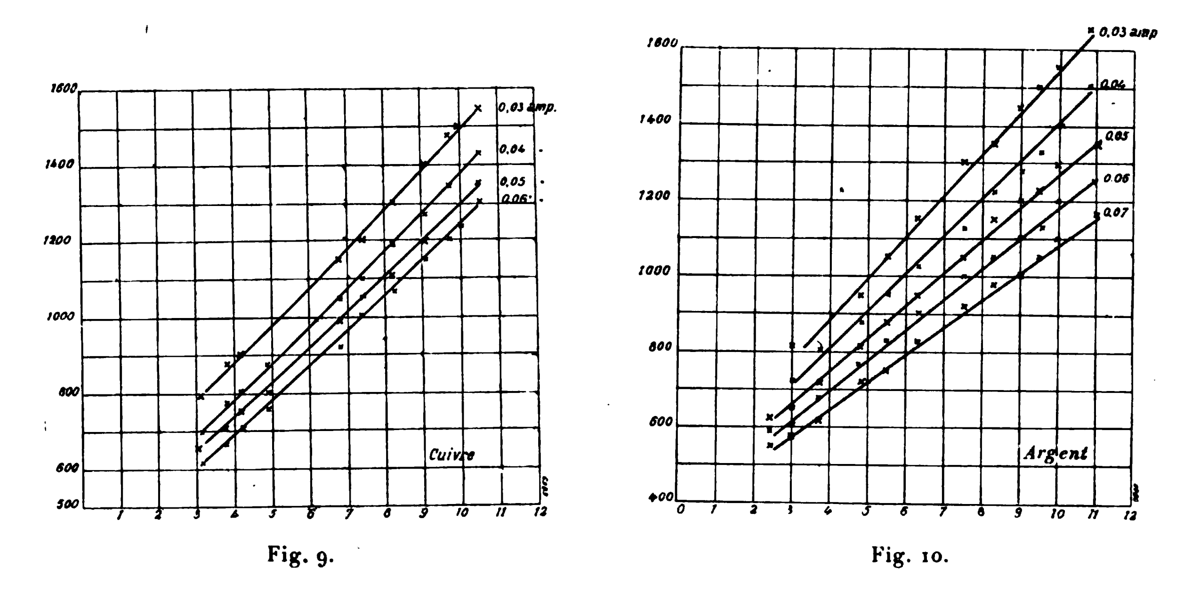


Fig. 9. Fig. 10.

Il n'est peut-être pas sans intérêt de remarquer que le cuivre et l'argent appartiennent à la même famille chimique.

TABLEAU N° 2. — *Argent. Air sec.*

DISTANCE	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07
0,05 mm	•	•	•	•	•
1,5 »	•	•	•	•	•
1,9 »	•	•	•	•	•
2,4 »	•	•	625	590	550
3,0 »	810	720	650	600	575
3,7 »	850	800	715	675	620
4,8 »	950	875	810	760	720
5,5 »	1 050	950	875	825	750
6,3 »	1 150	1 025	950	900	825
7,5 »	1 300	1 125	1 050	1 000	920
8,3 »	1 350	1 225	1 150	1 050	975
9,5 »	1 500	1 325	1 225	1 125	1 050
9,0 »	1 440	1 275	1 200	1 100	1 000
10,0 »	1 550	1 400	1 300	1 200	1 100
10,8 »	1 650	1 500	1 350	1 250	1 170
11,5 »	—	—	—	—	—
12,0 »	—	—	—	—	—

3. *Or.* (Fig. 11. Tabl. 3). — Les électrodes étaient en or chimiquement pur. L'expérience a montré que ce métal se prête très mal à la formation de l'arc. Ce dernier n'est, en effet, stable qu'entre des limites fort étroites, comprises entre 3 et 5 millimètres pour 0,03 à 0,04 amp.

Les phénomènes qui caractérisent la zone critique, apparaissent pour l'or dans toute



leur netteté. Les électrodes étaient après l'expérience recouvertes d'un léger filet constitué par une poudre de couleur jaune clair, probablement de l'or pulvérulent.

Tableau n° 3. — *Or. Air sec.*

DISTANCE	0,03	0,04	0,05
1,0 mm	•	•	•
2,0 »	•	•	•
2,9 »	•	•	•
3,2 »	1 100	910	800
3,7 »	1 150	950	860
4,4 »	1 250	1 025	910
4,8 »	—	—	—
5,2 »	—	—	—

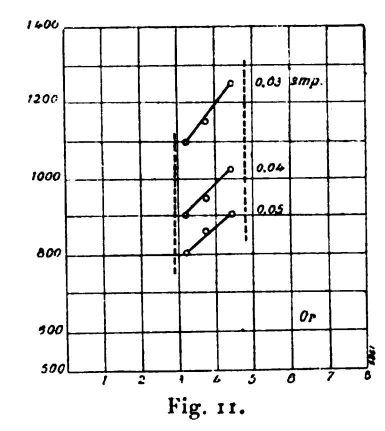


Fig. 11.

4. *Platine*. (Fig. 12. Tabl. 4). — Pour le platine, la zone normale est un peu plus étendue que pour l'or ; si on compare ces deux métaux, qui appartiennent à la même famille chimique, on constate qu'ils présentent les plus courtes zones normales. La zone critique ne commence pour le platine qu'à 2 millimètres pour 0,04 ampère. D'autre part pour les intensités de 0,06 et 0,07 relativement grandes, on ne pouvait plus constater l'existence d'une zone critique, ce qui montre que ce phénomène est particulièrement net pour les faibles intensités.

On peut remarquer sur les électrodes de platine, qui ont servi aux expériences, une pellicule noire-brune. Est-ce de l'oxyde ou du platine très divisé. Nous n'avons pas élucidé ce point (1)?

Tableau n° 4. — *Platine. Air sec.*

DISTANCE	0,04	0,05	0,06	0,07
0,4 mm	•	•	•	•
1,0 »	•	•	•	•
2,0 »	•	•	•	•
2,14 »	775	700	625	600
2,6 »	800	750	675	625
3,9 »	920	850	800	750
4,5 »	950	900	850	800
5,0 »	1 000	920	890	820
5,5 »	1 050	975	900	
6,0 »	1 075	1 000	950	910
6,5 »	—	—	—	—
7,0 »	—	—	—	—

5. *Cadmium*. (Fig. 13. Tabl. 5). — La pointe des électrodes était recouverte, après l'expérience, d'une poudre noire ; en s'éloignant des extrémités on observait un anneau, large de 2 millimètres environ, de couleur brune, et le reste du cône était recouvert d'une poudre jaune.

Avec ce métal la zone normale est très étendue (de 2 mm à 13 mm) ; elle est plus grande que pour les métaux précédents. On constate également l'existence d'une région

(1) Rive indique le premier l'oxydation du platine dans l'arc électrique.

critique pour toutes les intensités, mais d'une façon moins accentuée que pour le Cu, Ag, Au, Pt. En outre dans la région critique les étincelles au voltmètre ne se produisaient pas immédiatement et l'on réussissait à faire des lectures. La position de l'aiguille de l'instrument oscillait, de sorte que les chiffres qui figurent au tableau 5 dans la zone critique ne sont que des moyennes. Il importe

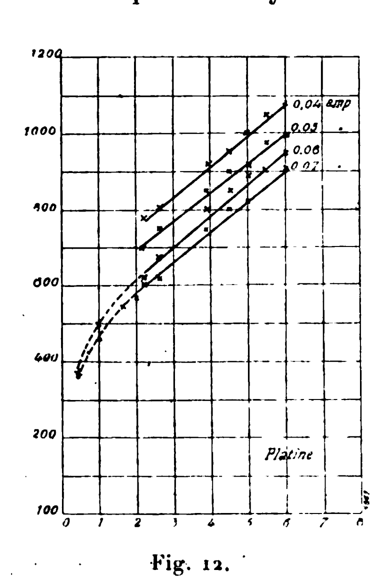


Fig. 12.

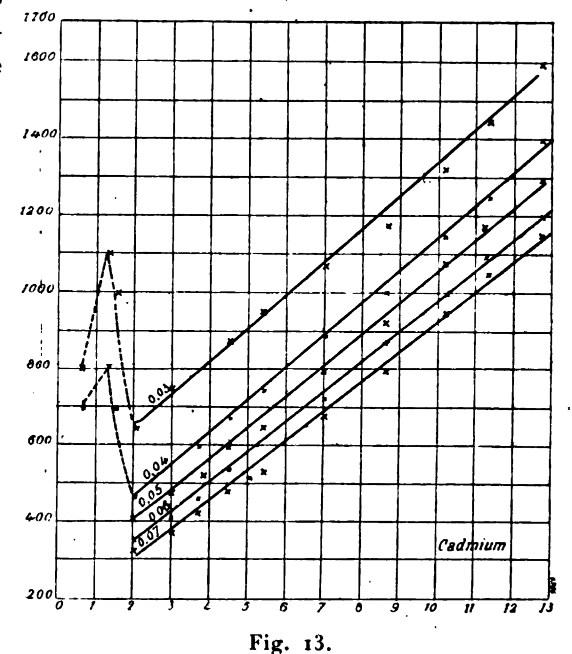


Fig. 13.

également de remarquer, ce qu'a confirmé d'ailleurs l'observation au miroir tournant, que le passage du courant dans la zone critique a un caractère franchement intermittent, de sorte que les indications du voltmètre ne nous renseignent pas sur la valeur maximum probablement très considérable que peut atteindre le voltage instantané aux électrodes.

Tableau n° 5. — *Cadmium. Air sec.*

DISTANCE	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07
0,6 mm	800	700	•	•	•
1,3 »	1 100	800	•	•	•
1,5 »	1 000	700	•	•	•
2,0 »	650	465	410	350	325
3,0 »	750	555	480	410	375
3,7 »	800	600	525	460	425
4,5 »	875	675	600	540	480
5,4 »	950	750	650	575	535
7,0 »	1 075	890	800	725	680
8,6 »	1 175	1 000	925	875	800
10,2 »	1 326	1 150	1 075	1 000	950
11,3 »	1 450	1 250	1 175	1 100	1 050
12,7 »	1 600	1 400	1 300	1 250	1 150-1 175
13,3 »	—	—	—	—	—
14,0 »	—	—	—	—	—

6. *Magnésium* (Fig. 14). Tab. 6. — Avec ce métal les électrodes se couvraient rapidement d'une couche d'oxyde de magnésium dont on les débarrassait avant chaque nouvelle expé-



rience. On voit par la figure 14 que la zone normale atteint pour le magnésium une étendue plus grande que pour tous les autres métaux étudiés dans ce travail.

Le cadmium et le magnésium, qui appartiennent à la même famille chimique, offrent en outre une autre analogie ; l'accroissement du voltage, dans la zone critique, est très peu marquée pour tous deux, particulièrement pour le magnésium.

L'apparence de l'arc entre électrodes de magnésium à la distance 14,7 mm pour un courant de 0,04 ampère, est représentée par la figure 15. L'arc a la forme d'un V renversé, tandis que cette forme ne se remarque généralement pour les les autres métaux qu'avec des courants plus intenses. La cause en est peut-être due à l'abondance et à la conductibilité des vapeurs de magnésium qui livrent un passage facile au courant électrique.

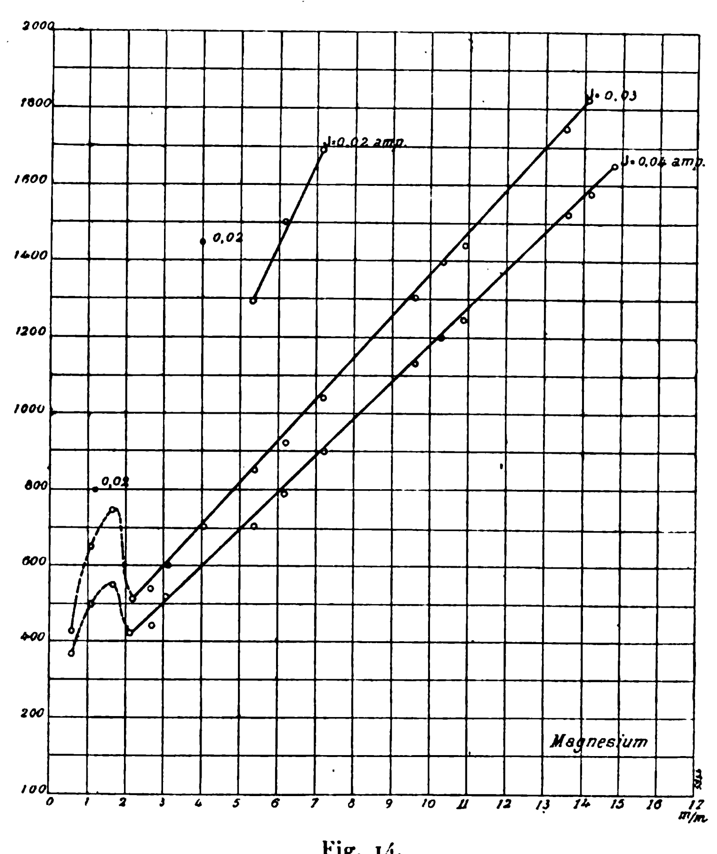


Fig. 14.

Tableau n° 6. — *Magnésium. Air sec.*

DISTANCE	0,03	0,04	DISTANCE	0,03	0,04
1,1 mm	* 650	* 510	7,2 mm	1 040	900
0,6 »	* 425	* 365	9,6 »	1 300	1 140
1,7 »	* 750	* 550	10,3 »	1 400	1 200
2,16 »	515	425	10,9 »	1 440	1 250
2,7 »	540	440	13,6 »	1 750	1 525
3,1 »	600	515	14,2 »	1 825	1 575
4,0 »	700	600	15,0 »	—	—
5,4 »	850	710	16,0 »	—	—
6,2 »	920	790			

7. *Aluminium* (Fig. 16). Tab. 7. — Les électrodes se sont couvertes, pendant l'expérience, d'une forte couche d'oxyde d'un gris terreux. Cette couche est, comme on sait, très peu conductrice, car l'arc n'est jamais stable, fait constaté déjà par M. von Lang et plus tard par M. Arcus pour des arcs plus intenses. Bien qu'on ait soin d'enlever, après chaque expérience, cette couche d'oxyde, elle se reforme très rapidement, aussi le voltmètre n'est-il jamais stable, même dans la région où avec d'autres métaux l'arc aurait été généralement normal ; c'est-à-dire entre 3 mm et 5 mm de distance d'électrodes. Même dans cette région,

l'aiguille du voltmètre oscille constamment avec des écarts atteignant une centaine de volts. Les valeurs indiquées dans le tableau 8 et la figure 16 ne sont donc que des moyennes approximatives.

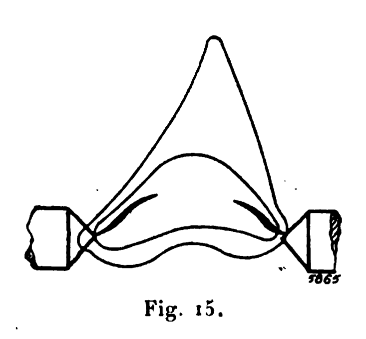


Fig. 15.

TABLEAU N° 7. — *Aluminium. Air sec.*

DISTANCE	0,02	0,03	0,04
0,5 mm	• 1 100	• 950	• 800
1,0 »	• 1 500	• 1 200	• 950
1,8 »	• 1 850	• 1 300	• 1 000
2,7 »	• 1 650	• 1 100	•
3,2 »	—	800-900	650-760
4,0 »	—	900-1 100	700-800
4,7 »	—	1 050-1 150	750-850
6,0 »	—	—	—

8. *Nickel* (Fig. 17). Tab. 8. — Après l'expérience, les électrodes étaient légèrement noircies vers l'extrémité. On remarquait aussi des anneaux colorés sur le commencement de la partie cylindrique des électrodes; ces colorations étaient probablement dues, comme cela a lieu pour le fer, à la formation d'un oxyde transparent plus ou moins épais.

Pour l'intensité de 0,05 ampère on ne distinguait pas de zone critique ; cette zone n'apparaissait qu'au dessous de cette intensité.

TABLEAU N° 8. — *Nickel. Air sec.*

DISTANCE	0,03	0,04	0,05
0,8 mm	• 950	• 450	• 400
1,5 »	• 850	• 750	• 475
2,2 »	650	570	525
3,0 »	750	650	590
3,7 »	800	710	640
5,3 »	975	880	790
6,0 »	1 050	925	850
7,1 »	1 175	1 050	960
7,5 »	1 250	1 110	1 010
8,5 »	1 375	1 200	1 100
9,5 »	1 450	1 325	1 200
9,9 »	—	—	—
10,5 »	—	—	—

9. *Fer* du commerce (Fig. 18). Tab. 9. — Les électrodes en fer avaient été tournées dans une tige de fer du commerce. Comme on le voit (fig. 18), la zone normale est alors très étendue ; les relations entre le voltage et la distance des électrodes sont représentées par des droites jusqu'à la distance de 2 mm. Mais, même au-dessous de cette distance, on ne pouvait pas constater l'existence d'une zone critique proprement dite, c'est-à-dire caractérisée par une élévation des indications du voltmètre, comme c'était le cas pour tous les autres métaux étudiés. Au contraire, la valeur du voltage décroît lorsque la distance des électrodes diminue. Nous reviendrons plus loin sur l'explication de cette particularité quand nous traiterons de la zone critique (§ III). Il nous suffit de mentionner pour le moment que

cette anomalie a disparu en employant des électrodes en fer chimiquement pur. De sorte

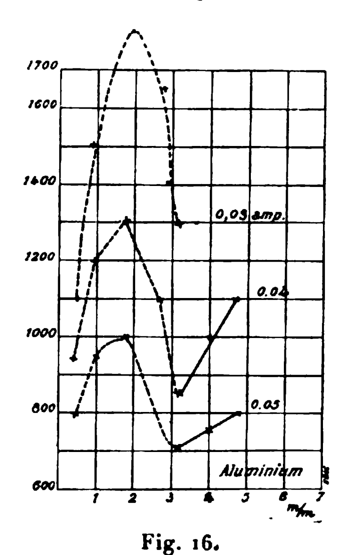


Fig. 16.

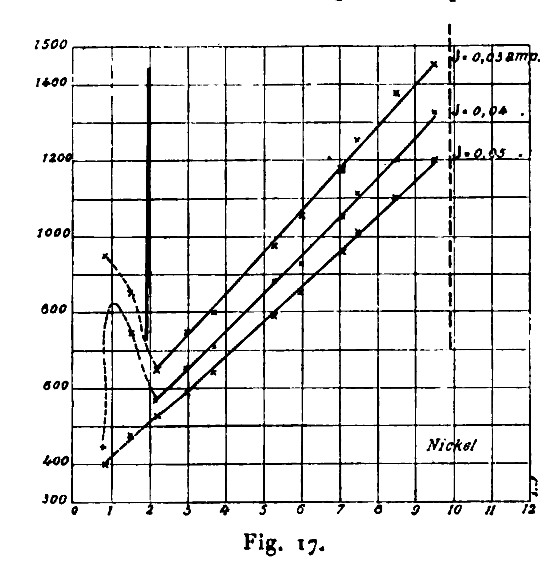


Fig. 17.

que l'existence de cette zone critique paraît être un phénomène général si l'on emploie des électrodes en métal pur.

Tableau n° 9. — *Fer du commerce. Air sec.*

DISTANCE	0,02	0,03	0,04	0,05
0,1 mm	400	365	360	350
0,5 »	475	415	400	380
1,1 »	600	510	475	450
1,5 »	675	575	540	510
1,9 »	715	640	575	525
2,5 »	750	680	600	590
3,4 »	875	750	700	650
4,5 »	1 000	850	800	730
6,7 »	1 250	1 060	990	910
7,7 »	1 300	1 130	1 050	990
8,6 »	1 400	1 240	1 150	1 090
9,7 »	1 550	1 350	1 260	1 200
10,3 »	1 600	1 375	1 300	—
10,9 »	1 720	1 490	1 400	—
11,5 »	—	—	—	—
5,1 »		930	850	800
5,9 »		1 020	910	850
2,7 »			615	590

Il résulte donc de toutes les expériences précédentes que *dans la zone normale de fonctionnement la relation qui unit le voltage et la longueur de l'arc* (*courant alternatif de faible intensité jaillissant entre électrodes métalliques*) *peut être représentée par une ligne droite*, l'intensité du courant demeurant constante.

On a parfois recherché s'il existait quelque relation entre la facilité avec laquelle on peut entretenir un arc et la nature des électrodes.

Feussner a émis l'idée que la résistance de l'arc est plus grande, toutes conditions égales, pour les métaux dont la température de volatilisation est élevée.



Il résulte de l'ensemble de nos expériences (Voir communication à la Société de physique de Genève, séance du 8 janvier 1903) que le poids atomique des métaux des électrodes semble jouer un rôle dans cette question, soit directement, soit indirectement.

Si l'on considère des arcs d'intensité suffisamment faible pour que la volatilisation des électrodes sous l'influence directe de la chaleur soit très atténuée, on remarque que *la tension nécessaire pour maintenir un arc de longueur et d'intensité données est d'autant plus grande que le poids atomique de la substance des électrodes est plus élevé.* (Tableau n° 10).

La seule exception que nous ayons rencontrée jusqu'ici, est celle fournie par le cadmium ; mais, indépendamment des difficultés que l'on a d'obtenir ce métal à l'état de pureté suffisante, ce corps est très *oxydable* et *volatil.*

En outre il convient de remarquer que des différences parfois très grandes entre les poids atomiques (Cu et Ag) ne correspondent qu'à de très faibles différences dans la tension nécessaire au maintien de l'arc. La règle ci-dessus n'a donc d'après les expériences faites jusqu'ici qu'un caractère très approximatif, mais il serait intéressant de rechercher si en diminuant suffisamment le courant et en expérimentant dans une atmosphère dépourvue d'oxygène, on s'en rapprocherait davantage. Les expériences consignées dans les tableaux suivants semblent l'indiquer. En effet pour les faibles intensités de courant, l'arc entre électrodes de cadmium semble nécessiter une tension plus élevée relativement aux autres métaux que pour des intensités plus grandes, mais les limites dans lesquelles nous avons expérimenté sont malheureusement trop étroites.

Sans entrer pour le moment dans des considérations théoriques prématurées sur l'interprétation de cette règle, on peut néanmoins remarquer qu'en diminuant suffisamment le courant de façon à réduire la conductibilité due à la volatilisation par l'action directe de la chaleur, la tension nécessaire pour arracher dans l'unité de temps un même nombre d'atomes métalliques (même intensité de courant), serait d'autant plus grande que le poids de ces atomes est plus considérable.

Tableau n° 10. — *Poids atomiques et tensions aux électrodes.*

	Poids atomiques									
	C	Mg	Fe	Ni	Cu	Ag	Cd	Pt	Au	
	12	24	55,9	58,6	63,2	107,7	115,5	194,3	196,7	
	Tensions aux électrodes (volts)									
d = 3 mm				590	650	650	480	770	790	I = 0,05
d = 5 »				770	825	830	650	920	950	
d = 7 »				960	1 070	1 000	810	1 000		
d = 3		500	550	650	700	710	550	830	880	I = 0,04
5	640	700	850	850	870	900	725	1 000	1 040	
7		890	1 050	1 050	1 070	1 000	890	1 000	1 270	
d = 3 mm		600	690	740	780	780	730		1 050	I = 0,03
d = 5 »		820	910	950	980	990	900		1 290	
d = 7 »		1 040	1 130	1 170	1 180	1 200	1 080			

A ce point de vue, l'étude des arcs de très faible intensité peut être d'un très grand intérêt en fournissant des renseignements sur la nature intime de la décharge électrique. Il est intéressant de rapprocher ces résultats des observations faites par MM. Schuster et



Hemsalech qui ont montré que le spectre des électrodes se retrouve sur toute la longueur de l'étincelle, et que la matière des électrodes se meut avec une vitesse de l'ordre du demi-kilomètre à la seconde ; cette vitesse étant plus considérable pour les métaux dont les poids atomiques sont les plus petits.

Les atomes arrachés des électrodes semblent donc jouer un rôle plus important qu'on ne le supposait dans la conductibilité de l'arc, peut être comme véhicules des charges d'électricité.

(*A suivre.*)

Ch.-Eug. Guye
Professeur de physique à l'Université de Genève.

Berthold Monarch.
Ingénieur diplômé.

LES DISPOSITIFS DE TRANSMISSION DE LA « WIRELESS COMPANY »

On sait qu'à la suite des expériences exécutées entre le poste de Poldhu et le *Carlo Alberto* (1), la Wireless Company a établi sur le littoral de la Nouvelle-Ecosse, au Cap Breton, une station de télégraphie sans fil identique à celle de Poldhu et destinée à assurer un service permanent de communications inter-océaniques. Bien qu'il y ait encore beau-

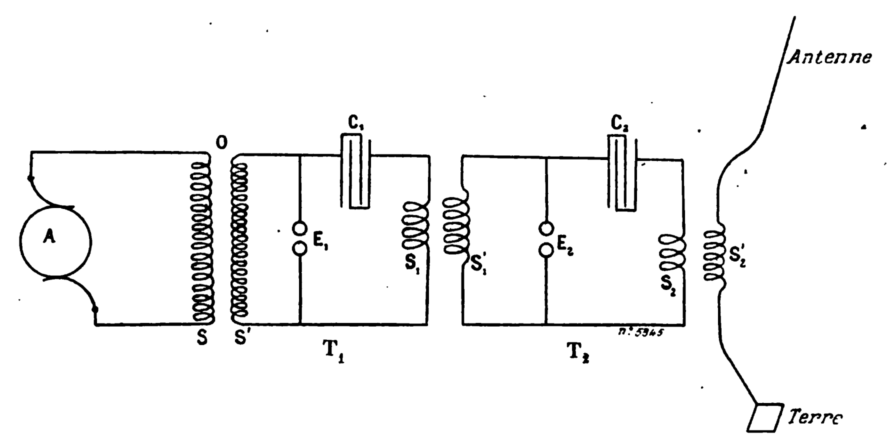


Fig. 1. — Schéma de la production de l'énergie électrique au poste de télégraphie sans fil de Poldhu, appartenant à la « Wireless Company ».

A, alternateur de 2 000 volts et 50 kilowatts ; O, transformateur industriel à 20 000 volts ; T_1, T_2, dispositifs de Tesla.

coup de réserves à faire au sujet de la sécurité des communications, il paraît certain qu'il a été possible d'échanger des messages entre ces deux stations en franchissant une distance de 3 000 milles.

Ces distances ne sont pas du même ordre de grandeur que celles auxquelles on était habitué jusqu'ici, mais on va voir que l'énergie mise en jeu n'est non plus guère comparable avec celle que l'on utilisait communément dans ces sortes d'expériences.

Une station de télégraphie sans fil comme celle de Poldhu est en effet une véritable usine électrique. La source d'électricité est constituée par un alternateur de 50 kilowatts actionné par une machine d'une centaine de chevaux.

(1) Voir l'article de M. Turpain dans *L'Éclairage Électrique* du 5 janvier et notre article du 12 janvier.

Les renseignements sur le détecteur magnétique de Marconi donnés dans ces derniers articles sont extraits d'une communication de M. le lieutenant de vaisseau Tissot, présentée vendredi dernier à la séance de la Société de Physique.

Le courant de cet alternateur A (fig. 1), qui a une tension de 2 000 volts et une intensité de 25 ampères, excite le primaire d'un transformateur industriel O qui élève la tension à 20 000 volts.

Aux bornes du secondaire du transformateur O, c'est-à-dire aux extrémités du circuit S', se trouvent reliés un excitateur à boules E_1 et un circuit de décharge qui comprend le primaire S_1 d'un premier transformateur Tesla T_1 et un condensateur C_1 de grande capacité.

Le secondaire S'_1 du Tesla T_1 est relié à son tour à un circuit de décharge analogue au premier. Ce circuit comprend un éclateur à boules E_2, un condensateur C_2 et le primaire S_2 d'un second Tesla T_2. Le secondaire S'_2 de ce second Tesla est enfin relié, d'une part à la terre, d'autre part à l'antenne. Cette antenne est ici constituée, comme on le sait, par 400 conducteurs aériens isolés disposés en quatre sections sous forme de pyramide quadrangulaire renversée [1]. Ces antennes multiples sont suspendues à des drailles horizontales isolées et supportées par des tours en charpente de 70 m de hauteur. Tout ce dispositif a pour objet d'élever la tension et d'accroître la fréquence des oscillations électriques qui prennent naissance en E_1.

Il n'est d'ailleurs, comme l'on voit, que la reproduction des dispositifs bien connus de Tesla et de d'Arsonval, et de nombreux expérimentateurs ont déjà utilisé en télégraphie sans fil des dispositifs analogues.

Mais ce qui en constitue l'intérêt, c'est la grandeur de l'énergie qui est mise en jeu.

Les condensateurs C_1 et C_2 — qui sont identiques à très peu près — présentent en effet une capacité considérable.

Ils sont constitués par un certain nombre de condensateurs élémentaires associés en quantité.

Chaque condensateur élémentaire se compose de « carreaux » ou feuilles de verre revêtues sur chaque face d'une armature de feuille d'étain de 30 cm de côté.

Vingt « carreaux » identiques sont disposés parallèlement dans un bac rempli d'huile de lin préalablement bouillie.

Le condensateur C_1 comprend 18 à 20 bacs identiques associés en parallèle, ou plutôt 72 bacs divisés en 36 paires réunies en quantité, chaque paire comprenant deux bacs en cascade.

Un condensateur élémentaire ou bac, présente une capacité de 1/20 de microfarad environ, de sorte que l'ensemble a une capacité voisine de 1 microfarad. Ainsi, pour exciter le circuit primaire du Tesla T_1, on dispose d'une capacité de 1 microfarad chargé à une différence de potentiel de 20 000 volts.

Le transformateur à courant alternatif qui élève à 20 000 volts la tension du courant de l'alternateur est construit avec des soins spéciaux pour assurer le parfait isolement du secondaire.

Ce secondaire est cloisonné comme les secondaires des bobines de Ruhmkorff et constitué par une série de galettes plates enfilées sur l'enroulement primaire [2].

---

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXXIV, p. 46, 12 janvier 1903.

(2) Chacune des galettes est construite de la façon suivante : Un bout de conducteur à fort isolement et de longueur convenable est passé à travers un trou pratiqué dans un disque d'ébonite. Chacune des moitiés est enroulée en galette ou même en spire plate de chaque côté du disque, les enroulements étant de sens inverse pour chaque face. Les disques sont enfilés sur l'enroulement primaire et réunis en série les uns aux autres. On obtient ainsi un secondaire bien isolé et de faible résistance, capable de charger un condensateur de grande capacité en un temps très court.



Les transformateurs Tesla, T_1 et T_2 sont analogues à ceux qui ont été précédemment décrits au sujet des expériences de Biot-Calvi (¹). Ils sont seulement de plus grande dimension.

Ils sont constitués par des cadres carrés de bois ou d'ébonite de 60 à 80 cm de côté, portant un enroulement primaire d'une dizaine de brins de câble de cuivre à fort isolement réunis en parallèle, et un enroulement secondaire de 8 à 10 tours du même câble.

Ces transformateurs de haute fréquence sont immergés dans des bacs remplis d'huile de lin.

On conçoit qu'il faille employer des dispositifs spéciaux pour pouvoir produire à volonté les émissions longues et brèves nécessaires à la transmission des signaux.

Tout d'abord, pour que la charge du condensateur C_1 puisse s'opérer, ainsi que la

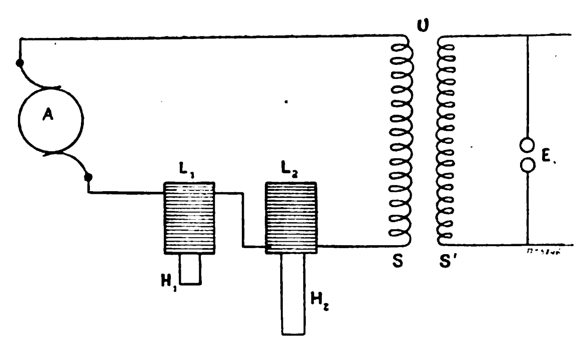


Fig. 2. — L_1, L_2, bobines de réaction intercalées en série sur le circuit d'alimentation du transformateur pour supprimer l'arc permanent qui tend à s'établir en E_1.

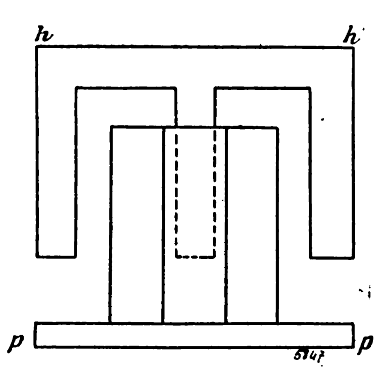


Fig. 3. — Détails de construction des bobines de réaction L_1 et L_2.

décharge oscillante du circuit S_1 dans l'éclateur E_1, il faut s'opposer à la formation de l'arc permanent qui tend à s'établir entre les boules de l'excitateur E_1 qui se trouve aussi relié aux bornes du transformateur à basse fréquence O.

Il faut ensuite trouver le moyen de produire des interruptions suffisamment brusques de longue ou de courte durée sur le circuit d'alimentation du primaire.

Or le primaire du transformateur O est excité par un courant de 2 000 volts de force électromotrice et d'une intensité de 20 à 25 ampères. On ne saurait songer à manipuler directement sur un pareil courant avec une clef Morse, et d'ailleurs l'alternateur ne pourrait supporter un pareil régime.

Pour obtenir la suppression de l'arc permanent qui tend à s'établir entre les boules de l'excitateur et accompagne la décharge de haute fréquence, on a été conduit à employer d'abord le procédé suivant.

Deux bobines de réaction L_1 et L_2 sont (fig. 2) intercalées en série sur le circuit d'alimentation du transformateur à courants alternatifs.

Ces bobines, qui peuvent être identiques, sont construites de façon à ce que l'impédance de l'une d'elles seule, L_2 par exemple, ait une valeur suffisante pour étouffer totalement le courant lorsque son noyau de fer H_2 se trouve complètement enfoncé (²).

(¹) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXVIII, p. 93, 20 juillet 1901.

(²) Les bobines L_1 et L_2 sont confectionnées chacune d'une série de galettes plates empilées les unes sur les autres. Ces galettes sont réunies en série et isolées l'une de l'autre par des feuilles de mica. Chacune des bobines a un nombre total de 2 000 tours de fil bien isolé et repose sur une plaque de fer *pp'* (fig. 3). Ces bobines ont 45 cm

****

Pour effectuer le réglage, on sort complètement le noyau H_2 et on agit sur H_1 seul en l'enfonçant plus ou moins, de manière à empêcher la production de l'arc permanent sans que les phénomènes de charge et de décharge du condensateur C_1 cessent d'avoir lieu. Selon MM. Fleming et Marconi, il serait possible de trouver par tâtonnement une position convenable du noyau H_1 (1).

L'efficacité du procédé n'a cependant pas paru suffisante en pratique et on a du recourir à l'emploi de nouveaux dispositifs. Il importe, en effet, non pas simplement de réduire dans une notable proportion, mais d'éviter absolument la formation de l'arc permanent.

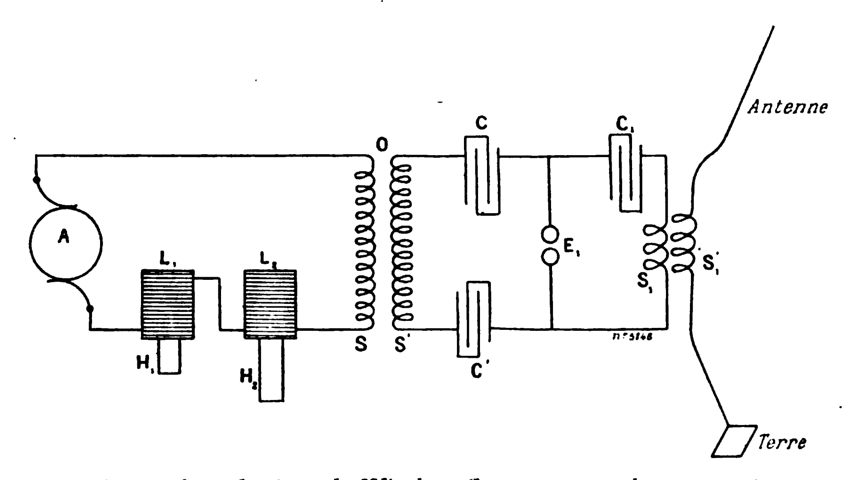


Fig. 4. — Dispositif d'Arsonval employé par la Wireless Company pour la suppression de l'arc permanent en E_1 par l'adjonction de deux condensateurs de garde C C' sur le secondaire du transformateur O.

Cet arc laisse passer, en même temps que la décharge à haute fréquence, le courant de basse fréquence du transformatenr O, de sorte qu'il ferme le transformateur sur lui-même, ce qui risque de le brûler et amène la destruction rapide des boules de l'excitateur. Ces effets ont été fréquemment signalés par divers expérimentateurs. On sait que le soufflage de l'étincelle produit par un champ magnétique ou par un jet d'air ou d'acide carbonique sous pression réussit à les atténuer. Ces divers moyens ont été employés dans les dispositifs de la Wireless Company, mais avec un succès médiocre étant donnée la quantité d'énergie mise en jeu.

On eut alors l'idée de modifier le circuit de décharge du premier Tesla T_1 en employant un dispositif indiqué par M. d'Arsonval (2). Ce dispositif consiste à couper le circuit à haute tension du transformateur industriel O par un premier condensateur (fig. 4).

Ce condensateur C', que M. d'Arsonval appelait « condensateur de garde », a pour effet de s'opposer complètement à la formation de l'arc permanent entre les boules de l'éclateur. D'ailleurs, si sa capacité est convenablement réglée, il permet au condensateur « actif » C_1 de se charger et aux décharges oscillantes de se produire.

---

de hauteur et 15 cm intérieur. Les noyaux H_1 et H_2 sont en tôle feuilletée et affectent la forme d'un E dont la branche centrale pénètre dans la bobine. Les branches ont 45 cm de longueur et présentent une section transversale commune carrée de 10 cm de côté. La plaque de fer *pp'* sur laquelle repose la bobine H_1 est destinée à fermer le circuit magnétique lorsque le noyau se trouve enfoncé à bloc, et à accroître la réactance de la bobine.

(1) Un pareil moyen a déjà été indiqué et employé pour le même objet par M. d'Arsonval. *C. R. de l'Ac. des sc.*, juillet 1896.

(2) *C. R. de l'Ac. des sc.*, juillet 1896.



Le dispositif devient alors le suivant :

Les bobines de réaction L_1 et L_2 se trouvent conservées. La bobine L_1 sert à parfaire le réglage. Quant à la bobine L_2, nous en verrons tout à l'heure l'utilité.

Le condensateur de garde peut être divisé en deux, C et C′ par exemple, pour la symétrie. Le condensateur C_1 reste sur le circuit de décharge, qui comprend le primaire S_1 du premier Tesla et l'excitateur E_1.

Avec cette disposition, on doit vraisemblablement donner à la capacité de chacun des condensateurs de garde C, C′, une valeur à peu près double de celle du condensateur actif C_1.

Nous avons supprimé le second Tesla T_2 sur la figure 4, en représentant le circuit secondaire S'_1 du premier Tesla, relié directement à l'antenne et à la terre.

Il est clair, en effet, que l'on peut au besoin se passer du second Tesla ou en ajouter un troisième et même un plus grand nombre selon les capitaux dont l'on dispose et le retentissement que l'on désire donner à l'expérience.

Mais, comme nous l'avons fait remarquer au début, il ne suffit pas d'obtenir la suppression complète du courant de basse fréquence du transformateur lors de la décharge.

Il faut encore pouvoir produire ces décharges à volonté et faire avec un manipulateur des émissions de longues et de brèves.

C'est alors qu'intervient la seconde bobine de réaction L_2.

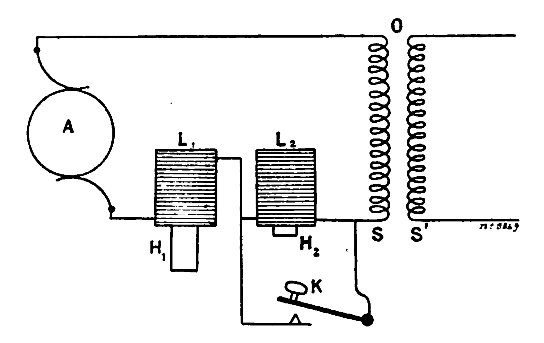


Fig. 5. — Dispositif permettant d'obtenir des décharges à volonté. Quand la clef K est abaissée, le primaire du transformateur O est excité ; quand elle est relevée, le courant d'excitation de O est étouffé par la réactance de L_2.

Cette bobine peut être mise en court-circuit à l'aide d'une clef K (fig. 5). Nous avons dit que la réactance de la bobine L_2 est telle, quand son noyau se trouve enfoncé à bloc, que le courant d'excitation du primaire du transformateur O est complètement étouffé. On enfonce donc le noyau de la bobine L_2 et on manipule avec la clef K. Chaque fois que la clef est abaissée, le courant excite le primaire du transformateur et les décharges se produisent. Quand elle est ouverte, le courant subit un brusque décalage et les décharges s'arrêtent sans qu'il y ait lieu de modifier le régime de l'alternateur.

La clef K doit nécessairement être établie avec des précautions spéciales. Elle est construite comme les commutateurs, dans lesquels la rupture du courant s'effectue simultanément en plusieurs points, 10 ou 12 par exemple, afin d'éviter les effets thermiques. On l'immerge, de plus, dans de l'huile de vaseline.

Pour obtenir les effets les plus puissants, il importe d'assurer l'accord étroit des différents circuits, c'est-à-dire de les mettre en résonance, de manière à ce que chacune des transformations successives présente le rendement maximum [1].

Dans ces conditions, on arrive à faire rayonner, par l'antenne multiple, la plus grande quantité d'énergie possible.

La tension à laquelle se trouve alors chargée l'antenne est telle que l'on peut obtenir des étincelles de 30 à 40 cm de longueur entre l'un des conducteeurs qui la constituent et la terre.

---

[1] Pour réaliser l'accord complet des différents circuits, on procède de la manière suivante :

On commence par agir d'abord sur le circuit primaire du dernier Tesla (T_2 par exemple), c'est-à-dire du Tesla dont le secondaire se trouve relié à l'antenne et à la terre. En modifiant par tâtonnements la capacité du condensa-



Il faut donc réaliser des isolements très énergiques, et pour la sortie de l'antenne, et pour la suspension des 400 conducteurs qui la composent.

On conçoit aisément la grosse difficulté que cela présente, surtout dans le climat humide de la côte de Cornouailles.

Une autre difficulté paraît résulter de l'énorme prise qu'offre au vent l'antenne multiple qui présente une surface considérable. Aussi ne peut-on guère la tenir à poste que par beau temps.

Enfin, jusqu'à présent, il n'a encore été possible que de recevoir des transmissions faites de nuit.

Toutes ces circonstances sont de nature à restreindre singulièrement la valeur industrielle du procédé comme mode de communication inter-océanique.

Si l'on note de plus que pour assurer le fonctionnement d'un pareil poste, il faut faire tourner sans cesse un alternateur de 50 kilowatts et maintenir en marche un moteur de 100 chevaux, on conviendra que l'envoi d'un mot doit être assez coûteux pour que les anciens procédés ne risquent pas d'être détrônés de sitôt, même si les communications de de la Wireless acquéraient la sécurité et la rapidité qui paraissent leur faire encore totalement défaut.

J. Reyval.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

MOTEURS

Compensation du décalage et réglage de la vitesse dans les moteurs d'induction, par **Osnos**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 919 et 1075, 16 octobre et 11 décembre 1902.

A. Compensation du décalage. — Dans le moteur bien connu, imaginé par Gœrges en 1891, on peut obtenir un fonctionnement convenable, sans étincelles, et sans décalage, à condition de donner au collecteur un nombre suffisant de lames, quoique encore plus petit que celui de la dynamo à courant continu correspondante ; le dispositif Heyland ou Latour (toute question de priorité entre M. Heyland et M. Latour étant ici écartée), par suite de l'addition de résistances entre les lames du collecteur, permet aux courants wattés de circuler par ce nouveau

teur C_2, on parvient à donner au courant de haute fréquence du circuit S_2 la même période que celle de l'onde qui prend naissance dans le circuit complexe constitué par l'antenne et le secondaire S'_2 de T_2. Il y a lieu de tenir compte du fait que la capacité C_2 est constituée par un grand nombre d'éléments qui nécessairement ne se trouvent pas occuper la même place dans le circuit.

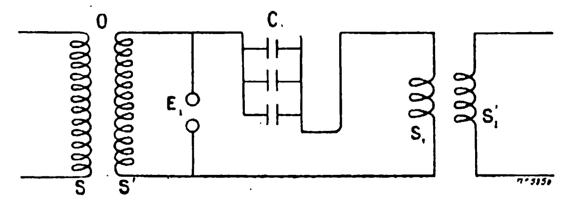


Fig. 6. — Groupement des condensateurs élémentaires pour mettre les différents circuits en résonance.

Pour obvier à l'inconvénient qui en résulte, on donne aux condensateurs élémentaires de C_2 et de C_1 la disposition qu'indique la figure 6.

La longueur du circuit de décharge est alors exactement la même pour chacun des condensateurs élémentaires de sorte que toutes les décharges partielles ont une période rigoureusement égale.

On procède ensuite à un réglage de proche en proche pour accorder les périodes de T_2 et de T_1, puis de T_1 et du transformateur à courants alternatifs O. Ce réglage qui nécessite l'insertion d'une nouvelle bobine de réactance variable (sans fer) entre le secondaire du premier Tesla T_1 et l'excitateur E_2 (Voy. fig. 1), paraît assez pénible.

Enfin on accorde le transformateur O à la période voulue en faisant varier la fréquence de l'alternateur par réglage de la vitesse de la machine qui l'actionne. S'il est nécessaire, on constitue le transformateur O d'un certain nombre de sections que l'on réunit ou non en parallèle.

chemin sans passer par les balais, ce qui réduit beaucoup les dimensions à donner au collecteur, ainsi que le nombre de lames à employer; mais par contre, il en résulte une diminution du rendement et de la capacité de surcharge, par rapport au moteur Gœrges.

L'auteur expose ici un nouveau procédé de compensation du décalage qui, tout en différant essentiellement de celui de Gœrges, présente les avantages du système Heyland, sans en avoir les inconvénients.

Gœrges et Heyland amènent le courant alternatif au secondaire à la fréquence même du réseau, et le transforment ensuite par un collecteur à courant continu en courant à la fréquence du glissement, ce qui oblige Heyland, pour permettre aux courants wattés induits par le glissement de se frayer un chemin en dehors des balais, à disposer des résistances en shunt entre les lames du collecteur: pour éviter l'emploi de ces résistances, il n'y a qu'à amener le courant au secondaire, sous la fréquence même du glissement, et l'y faire pénétrer soit directement en trois points fixes convenablement choisis, si le secondaire est fixe, soit par trois bagues reliées à trois points fixes, s'il est mobile.

On sait que dans une dynamo ordinaire à courant continu, à inducteur fixe et induit mobile, la tension entre les balais supposés fixes est une tension continue; mais si on fait tourner les balais dans une direction quelconque, la tension entre les balais, quels que soient leur nombre et leurs positions respectives, devient alternative; sa fréquence est égale au produit du nombre de pôles par le nombre de tours par seconde, et indépendante de la vitesse de l'induit; inversement la valeur de la tension ne dépend que de la vitesse de l'induit et de l'angle des balais, et non de la vitesse propre de ceux-ci.

De même dans les moteurs à champ tournant, si l'on dispose un collecteur sur l'armature et des balais fixes, la fréquence de la tension alternative entre les balais ne dépend que du glissement, et sa valeur seulement de l'angle des balais et de la vitesse de synchronisme.

Ceci posé, le procédé de l'auteur consiste à transformer la fréquence du courant du réseau par un collecteur k monté sur l'enroulement primaire p et à amener le courant ainsi réduit à la fréquence du glissement, en trois points convenables de l'enroulement secondaire 1', 2', 3', (cas d'un moteur triphasé bipolaire) (fig. 1);

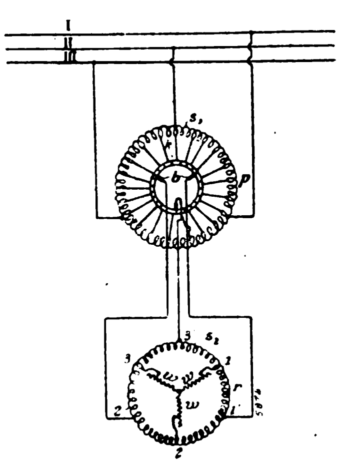


Fig. 1.

puis à relier trois autres points 1, 2 et 3, disposés symétriquement par rapport aux premiers, à trois résistances qui servent de démarreur ordinaire, et sont mises en court-circuit pendant la marche normale.

Si les points (1, 2, 3) de captation des courants wattés du glissement n'étaient pas symétriquement placés par rapport aux points 1', 2' et 3' d'amenée des courants d'excitation ou de compensation, la répartition des courants d'excitation et d'induction serait irrégulière dans les différentes parties de l'enroulement secondaire, et d'autre part une certaine partie des courants wattés d'induction se fermerait par les balais, ce qu'on veut éviter; mais si la symétrie est observée, la répartition des courants restera uniforme quelle que soit la valeur des résistances w, ce qui permet de choisir nulle cette valeur, c'est-à-dire de les mettre en court-circuit en marche normale, et d'obtenir ainsi le meilleur rendement possible du secondaire.

On peut faire mouvoir celle des deux parties du moteur que l'on veut, seule la disposition mécanique change: pour le primaire mobile, les balais sont fixes, et inversement.

On peut aussi employer un nombre quelconque de balais, pourvu que l'on respecte la symétrie respective des points d'amenée des courants de compensation et de sortie des courants wattés d'induction.

Dans le cas de moteurs déjà construits, on

peut réaliser la compensation du décalage sans être obligé de munir le moteur d'un collecteur et d'un enroulement spécial, en ayant recours à une excitatrice analogue au primaire *p* de la figure 1, et représentée figure 2.

Cette excitatrice *u* comprend un enroulement s_1 muni d'un collecteur *k* ; cet enroulement est connecté par trois points à 120° au réseau, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un transformateur. De trois balais, situés à 120° sur le collecteur, partent des courants de compensation qui pénètrent dans le secondaire du

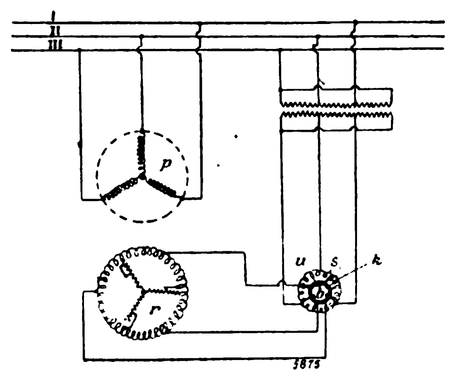


Fig. 2.

moteur à compenser par trois points disposés symétriquement aux points de jonction des résistances ordinaires de démarrage. L'excitatrice se compose pratiquement d'un noyau de fer lamellé, dans lequel est disposé l'enroulement continu relié au collecteur.

Au lieu de recourir à un transformateur, on peut disposer sur l'excitatrice deux enroulements dont l'un à grand nombre de spires est branché sur le réseau et l'autre à petit nombre de spires est relié au collecteur.

La tension aux balais de l'excitatrice étant proportionnelle à la vitesse du synchronisme, le poids de cuivre et de fer à employer ne sera pas supérieur à celui des transformateurs d'excitation que nécessitent les autres procédés.

Si l'on veut compenser la réaction d'induit et compounder la tension, on peut intercaler un transformateur survolteur soit dans le primaire de la figure 1, soit dans le circuit de l'excitatrice de la figure 2.

La figure 3 montre une des dispositions mécaniques admissibles pour le moteur et son excitatrice ; le primaire *p* du moteur est fixe, le secondaire *r*, mobile, comporte à gauche trois bagues r_2, pour la liaison aux résistances ordinaires de démarrage, et à droite deux bagues r_1, reliées aux deux balais fixes *b* de l'excitatrice compensatrice ; l'enroulement de cette excitatrice et le collecteur *k* correspondant, sont

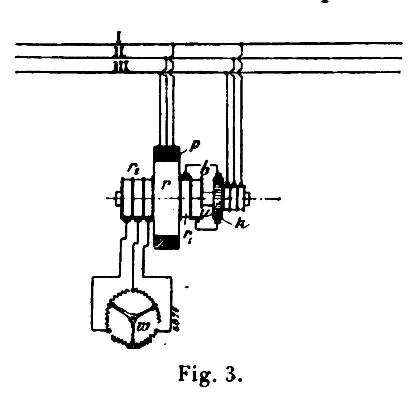


Fig. 3.

mobiles et montés sur l'arbre du secondaire du moteur ; le courant y est amené du réseau par trois bagues.

Tous ces dispositifs s'appliquent évidemment aux génératrices asynchrones.

Pour éviter la production des étincelles au collecteur, malgré l'emploi d'un petit nombre de lames et par suite d'un grand nombre de spires par section, on peut disposer dans les encoches, à côté de l'enroulement principal, un enroulement à cage d'écureuil de résistance convenable, qui aura pour but, non de produire des courants wattés d'induction, mais de diminuer la self-induction des sections et par suite la tension de réactance, par une action semblable à celle du secondaire en court-circuit d'un transformateur.

B. Réglage de la vitesse. — L'auteur énumère d'abord les différents moyens connus pour le réglage de la vitesse dans les moteurs d'induction, en faisant ressortir leurs avantages et leurs inconvénients :

1° *Intercalation de résistances dans le secondaire.* — Ce procédé permet de faire varier à volonté la vitesse au-dessous de la valeur normale, mais dans le cas de résistances non inductives occasionne une grande perte d'énergie dans ces résistances et de plus présente encore, sur l'emploi du procédé analogue avec le moteur-série à courant continu, l'inconvénient que dans le moteur d'induction les pertes dans le fer du secondaire augmentent à mesure que



la vitesse diminue, et avec elle l'échauffement, les autres pertes restant constantes.

L'emploi de résistances inductives seules ou de résistances mixtes (démarreur d'impédance) permet de diminuer la perte d'énergie, mais provoque un abaissement rapide du cos φ.

2° *Modification du nombre de pôles, groupement en cascade et emploi d'un enroulement secondaire monophasé.* — Ces procédés ne permettent que l'obtention de deux vitesses et de plus donnent à la vitesse la plus faible un facteur de puissance, un rendement et un couple maximum très amoindris [1].

3° *Dispositif de Danielson.* — Deux moteurs d'égale puissance mais d'un nombre de pôles différent sont groupés en cascade, en opposition ou séparément, ce qui donne 4 vitesses [2].

Les inconvénients en sont nombreux : mauvais rendement, faible capacité de surcharge, grande valeur du décalage, difficulté de construction des moteurs de faible puissance à grand nombre de pôles, mauvaise utilisation des moteurs.

4° *Emploi d'un collecteur du type à courant continu.* — C'est le procédé que l'auteur se propose d'étudier plus longuement, en tant que procédé non seulement de réglage de la vitesse mais aussi de compensation du décalage [3].

L'emploi des résistances a pour résultat d'absorber une partie de la force électromotrice induite dans le secondaire : on arrivera au même but en absorbant cette force électromotrice par un autre procédé, tel que la mise en opposition avec le secondaire d'une tension extérieure de même fréquence et de même phase que la force électromotrice du secondaire, engendrée par le glissement.

Inversement, si l'on veut augmenter la vitesse au-dessus de la valeur normale, on n'aura qu'à ajouter une tension extérieure dans le même sens que la force électromotrice du secondaire. Le collecteur employé n'est que le meilleur moyen d'obtenir facilement un courant alternatif de phase et de fréquence arbitraires. Ayant en main le moyen de modifier non plus seulement la tension mais aussi la phase secondaire, on peut aller plus loin et réaliser la compensation du décalage primaire.

Le premier qui ait remarqué ce fait, fut le professeur Gœrges qui cherchait à réaliser le réglage de la vitesse, mais son moteur bien connu présentait divers inconvénients : il ne fonctionnait sans décalage qu'au synchronisme et en dehors du synchronisme donnait naissance à de forts décalages et à une abondante production d'étincelles au collecteur.

C. Théorie du réglage de la vitesse et de la compensation du décalage. — Considérons un moteur d'induction dans le secondaire duquel on introduit, par un procédé quelconque, une tension extérieure de même fréquence que la force électromotrice secondaire et de phase arbitraire.

Soit (en négligeant la dispersion) (fig. 4) :

$OA = i_1$ le courant primaire, ramené à un même nombre de spires sur le rotor et le stator ;

$OB = i_2$ le courant secondaire, ramené à un même nombre de spires sur le rotor et le stator ;

$OC = i_0$ le courant magnétisant ;

$OD = e_1$ la tension aux bornes du primaire ;

$OF = e_2$ la tension aux bornes du secondaire ;

---

[1] D'après Niethammer, à la vitesse moitié :

	GROUPEMENT en cascade	MODIFICATION du nombre de pôles	ENROULEMENT secondaire monophasé
Rendement s'abaisse de . .	0,85 à 0,60	0,85 à 0,80	0,89 à 0,80
cos φ s'abaisse de	0,85 à 0,75	0,85 à 0,60	0,92 à 0,60
Couple maximum	beaucoup plus petit	plus petit	10 p. 100 plus grand
Puissance maximum s'abaisse à	1/4 valeur normale	—	1/3 valeur normale.

[2] Voir *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 657, 24 juillet 1902.

[3] A ce sujet l'auteur fait d'abord remarquer que c'est à tort que l'on refuse quelquefois aux moteurs, à secondaire muni d'un collecteur, le nom de moteurs d'induction, car d'après lui, la caractéristique nette du moteur d'induction est le fait qu'une force électromotrice est induite dans le secondaire, contrairement à ce qui se passe dans le moteur synchrone : les moteurs à collecteur et les moteurs de conduction devraient être regardés comme des subdivisions des moteurs d'induction, les moteurs asynchrones constituant de leur côté une autre subdivision.



φ_1 et φ_2 les différences de phase primaire et secondaire, positives quand le courant retarde sur la tension ;

r la résistance du secondaire ;

δ la différence de phase entre e_2 et e_1, positive quand e_2 est en retard sur e_1.

g, le glissement positif au-dessus et négatif au-dessous du synchronisme.

Au-dessous du synchronisme, le secondaire présente par rapport au champ supposé fixe un

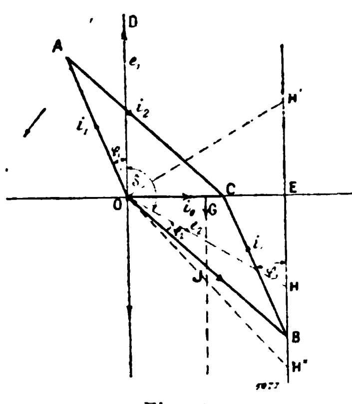


Fig. 4.

sens de mouvement relatif identique à celui du primaire, et la force électromotrice du glissement est dirigée dans le même sens que la force électromotrice du primaire c'est-à-dire en sens inverse de e_1 ; au-dessus du synchronisme, la force électromotrice secondaire est au contraire dirigée suivant e_1 ; la valeur de cette force électromotrice est par suite en grandeur et en direction ge_1,

En écrivant les équations de la loi d'Ohm suivant les deux axes de coordonnées Oe_1 et OE, on obtient

$$ge_1 + e_2 \cos\delta = r\, i_2 \cos(\delta + \varphi_2) \qquad (1)$$
$$e_2 \sin\delta = r\, i_2 \sin(\delta + \varphi_2). \qquad (2)$$

De (2), on déduit :

$$r = \frac{e_2 \sin\delta}{i_2 \sin(\delta + \varphi_2)} = \frac{OG}{OE}.$$

D'ailleurs, on a évidemment

$$\frac{OG}{OE} = \frac{GF}{EH} = \frac{e_2 \cos\delta}{EH} = r,$$

et en portant la valeur correspondante de $e_2 \cos\delta$ dans (1),

$$\frac{g e_1}{r} = i_2 \cos(\delta + \varphi_2) - EH = EB - EH = HB. \qquad (3)$$

Le segment HB mesure donc le glissement et le moteur tourne au-dessous du synchronisme si HB est dirigé vers le bas (cas de la fig. 1), et au-dessus du synchronisme si HB est dirigé vers le haut.

D'ailleurs OH et OB représentent respectivement les directions de la tension aux bornes et du courant secondaires, et l'on peut dire : la marche est hyposynchrone, si le courant secondaire retarde sur la tension secondaire ($\varphi_2 > 0$), et hypersynchrone, si le courant secondaire avance sur la tension secondaire ($\varphi_2 < 0$).

La puissance intérieure du secondaire est donnée par

$$P_2 = g e_1 i_2 \cos(\delta + \varphi_2) ;$$

d'ailleurs pour un moteur $\delta + \varphi_2$ étant toujours $> \frac{\pi}{2}$, cette puissance est négative ou positive suivant que g est positif ou négatif.

Donc, dans la marche hyposynchrone du moteur, le moteur fournit de l'énergie électrique à la source extérieure et dans la marche hypersynchrone, il lui en emprunte, et dans les deux cas l'énergie fournie ou absorbée, abstraction faite de la perte ohmique, est proportionnelle au glissement.

Dans tous les cas, le primaire absorbe une quantité d'énergie correspondant au produit du couple par la vitesse de synchronisme.

En connectant le secondaire directement ou indirectement au réseau, on peut faire en sorte que, pour la marche hyposynchrone, le secondaire restitue au réseau le supplément d'énergie absorbé par le primaire, ou que dans la marche hypersynchrone, il emprunte au réseau le supplément d'énergie nécessaire au primaire, sans qu'il y ait dans les deux cas perte appréciable d'énergie.

En faisant $e_2 = 0$, on peut tirer de (1) pour le moteur normal à secondaire en court-circuit :

$$g_n = \frac{r\, i_2 \cos(\delta + \varphi_2)}{e_1} ;$$

d'où l'expression générale du glissement d'un moteur réglable,

$$g = g_n - \frac{e_2}{e_1} \cos\delta. \qquad (4)$$

Le glissement d'un moteur réglable est égal au

glissement du moteur ordinaire, diminué du rapport de la composante suivant la tension primaire de la tension secondaire à la tension primaire.

En désignant par ω_n, ω_0 et ω les vitesses angulaires respectives des moteurs ordinaires, en marche synchrone, et réglable, on a

$$\frac{\omega_n - \omega}{\omega_0} = \frac{e_2}{e_1} \cos \delta. \qquad (4a)$$

A couple constant, de $\delta = \frac{\pi}{2}$ à $\delta = 0$ et de $\delta = \frac{3\pi}{2}$ à $\delta = 2\pi$, la vitesse du moteur décroît; de $\delta = \frac{\pi}{2}$ à $\delta = \pi$ et de $\delta = \frac{3\pi}{2}$ à $\delta = \pi$, la vitesse augmente.

Au point de vue du réglage de la vitesse, la seule chose qui entre en ligne de compte est la composante de e_2 suivant e_1, et par suite il y aurait intérêt à faire $\delta = 0$ ou $\delta = \pi$: mais il y a lieu d'observer ce qui en résulte pour le fonctionnement du primaire. Le triangle OBC donne :

$$i_0 = i_2 \sin (\delta + \varphi_2) + i_1 \sin \varphi_1,$$

ou après remplacement de i_2 par sa valeur tirée de (2),

$$i_0 - i_1 \sin \varphi_1 = \frac{e_2}{r} \sin \delta. \qquad (5)$$

Or $i_1 \sin \varphi_1$ étant la composante déwattée du courant primaire, le second membre représente la *compensation du décalage primaire* qui est proportionnelle à la composante de e_2 perpendiculaire à e_1. La meilleure compensation se produit pour $\delta = \frac{\pi}{2}$, et il n'y a aucune compensation pour $\delta = 0$ ou π.

Les conditions relatives au réglage de la vitesse et à la compensation du décalage, sont donc contradictoires, et ne peuvent être obtenues simultanément par l'emploi d'une seule ligne de balais sur le collecteur, à moins que pour chaque position des balais correspondant au réglage de la vitesse, le produit $e_2 \sin \delta$ reste constant.

De $\delta = \pi$ à $\delta = 2\pi$, la compensation est négative, et l'on ne peut pratiquement employer cette position des balais, puisque le décalage primaire serait augmenté par le réglage.

Pour obtenir à la fois le réglage de la vitesse et la compensation du décalage, on peut disposer deux lignes de balais décalées, l'une de 180°, l'autre de 90° par rapport à la tension primaire. Si l'on n'emploie qu'une seule ligne de balais, le décalage secondaire est inévitable et ne devient nul qu'au synchronisme, mais on peut vaincre son influence sur la ligne en le disposant en sens inverse du décalage primaire, par un choix convenable de la compensation, de façon qu'il en résulte pour le courant primaire un décalage en avant sur la tension primaire au-dessous du synchronisme, et un décalage en arrière au-dessus du synchronisme, ce qui s'exprime par l'équation

$$e_2 i_2 \sin \varphi_2 + e_1 i_1 \sin \varphi_1 = 0. ; \qquad (6)$$

Étudions maintenant le fonctionnement du moteur, pour une position fixe des balais, et à couple variable.

Le triangle OBC donne

$$i_1 \cos \varphi_1 + i_2 \cos (\delta + \varphi_2) = 0 ; \qquad (7)$$

d'autre part, on a

$$e_1 i_1 \cos \varphi_1 = 9{,}81 \ C \omega_0,$$

où C désigne le couple en mètre-kilogrammes.

On déduit de (1),

$$g = -\left(9{,}81 \frac{r \omega_0}{e_1^2} C + \frac{e_2}{e_1} \cos \delta\right), \qquad (8)$$

le glissement s'annule pour une valeur C_0 de C donnée par

$$9{,}81 \frac{r \omega_0}{e_1^2} C_0 = - \frac{e_2}{e_1} \cos \delta,$$

et le glissement peut être mis sous la forme

$$g = 9{,}81 \frac{r \omega_0}{e_1^2} (C_0 - C), \qquad (9)$$

ce qui montre que le moteur tourne au-dessus du synchronisme pour les valeurs du couple inférieures au couple de marche synchrone ; et au-dessous du synchronisme pour les couples supérieurs ; le couple C_0 pouvant être choisi quelconque, nul ou normal, suivant les valeurs de δ.

D. Moteur série. — Supposons maintenant que dans le moteur les forces élecmotrices et les tensions primaires et secondaires ne soient plus indépendantes, mais que le même courant i passe dans le primaire et dans le secondaire, ce qui est le cas du moteur série de Görges.

Soit (fig. 5) :

$AB = iz_1$, les ampères-tours primaires ;

$AC = iz_2$ les ampères-tours secondaires ;

$AD = e$, la tension totale pour l'ensemble des deux enroulements ;

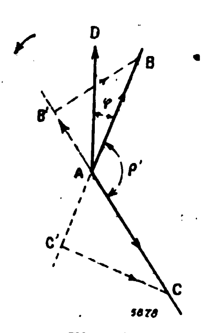


Fig. 5.

δ', l'angle de iz_1, et iz_2, ou des axes des champs du primaire et du secondaire (en négligeant l'hystérésis et les courants de Foucault).

φ, le décalage de i sur e.

Les champs AB et AC induisent dans le primaire des forces électromotrices proportionnelles à la vitesse de synchronisme et à z_1 ; dans le secondaire, au glissement et à z_2.

Soient r_1 et r_2 les résistances du primaire et du secondaire, k une constante (1), on a par rapport aux deux directions de i et de la perpendiculaire à i, les deux équations

$$e \cos \varphi - k i z_1 z_2 (1 + g) \sin \delta' - i (r_1 + r_2) = 0 \quad (10)$$

$$e \sin \varphi - k i (z_1^2 + z_1 z_2 \cos \delta') - g (z_2^2 + z_1 z_2 \cos \delta') = 0 \quad (11)$$

Multipliant les deux membres de (10) par i, et remplaçant $(1 + g)$ par $\frac{\omega_0}{\omega}$, on obtient

$$e\, i \cos \varphi - k\, i_2 z_1 z_2 \frac{\omega}{\omega_0} \sin \delta' - i^2 (r_1 + r_2) = 0.$$

D'ailleurs la loi de la conservation de l'énergie donne :

$$e\, i \cos \varphi - 9{,}81\, \omega\, C - i_2 (r_1 + r_2) = 0,$$

d'où il résulte :

$$C = \frac{k z_1 z_2}{9{,}81\, \omega_0} i^2 \sin \delta'. \quad (12)$$

(1) Pour une forme sinusoïdale du champ, on a

$$k = \frac{0{,}4\, \pi\, \Omega}{\mathcal{R}} 10^{-8},$$

Ω étant la pulsation du courant, et $\mathcal{R}$ la réluctance du circuit magnétique du moteur.

Cette équation montre que : de $\delta' = 0$ à $\delta = \pi$, le couple est positif et le moteur tourne dans le sens du champ, et au contraire de $\delta' = \pi$ jusqu'à $\delta' = 2\pi$, le couple est négatif, et le moteur tourne en sens inverse du champ.

En élevant au carré les équations (10) et (11) et additionnant, on obtient après remplacement de i^2 par sa valeur tirée de (12),

$$e^2 = \frac{9{,}81\, \omega_0\, k\, C}{z_1 z_2 \sin \delta'} \left[\left(z_1 z_2 (1 + g) \sin \delta' + \frac{r_1 r_2}{k} \right)^2 + \left(z_1^2 + z_1 z_2 \cos \delta' - g (z_2^2 + z_1 z_2 \cos \delta') \right)^2 \right], \quad (13)$$

équation qui permet de calculer le glissement g, si les autres constantes sont connues.

Le décalage φ dépend d'ailleurs de δ' et varie si on déplace les balais ; le couple est proportionnel au carré de la tension e.

E. Disposition mécanique. — Pour obtenir une bonne régulation de vitesse, il faut pouvoir transformer la fréquence du réseau en fréquence du glissement et faire varier dans de larges limites la grandeur et la phase de la tension secondaire. On y arrive au moyen de la disposition de la figure 6, très analogue à celle de la figure 1 relative à la compensation du décalage ; p est le primaire d'un moteur d'induction bipolaire,

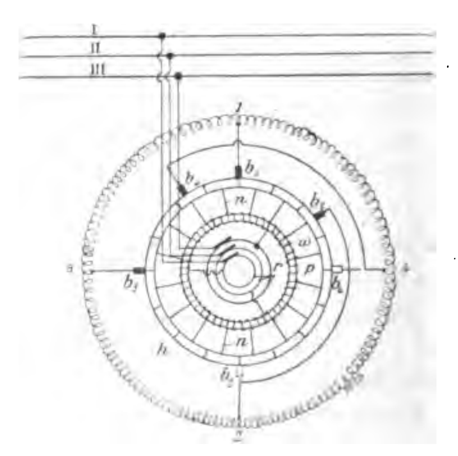


Fig. 6.

muni d'un enroulement à courant continu w et d'un collecteur, absolument identique somme toute à l'induit d'une commutatrice. Sur le collecteur frottent quatre balais, reliés à quatre points symétriques du secondaire. La tension moyenne entre les balais est maximum quand ils sont situés à 90° les uns des autres, et varie avec



leur position ; en les décalant de diverses façons et même en interchangeant leurs connexions, on peut obtenir de grandes variations dans la grandeur et la phase de la tension secondaire et par suite dans la vitesse.

Il est facile de voir que cette disposition se distingue de celle qui est relative à la compensation du décalage par l'absence de liaisons à des résistances extérieures intercalées ou en court-circuit, et par suite le courant total secondaire, y compris le courant watté d'induction, doit passer par le collecteur. Cet inconvénient est inévitable, car si l'on branchait des résistances comme dans la marche normale, on aurait une perte d'énergie beaucoup plus grande, pour les forts glissements, que dans le collecteur ; c'est d'ailleurs la raison pour laquelle le dispositif d'Heyland ne se prête pas au réglage de la vitesse.

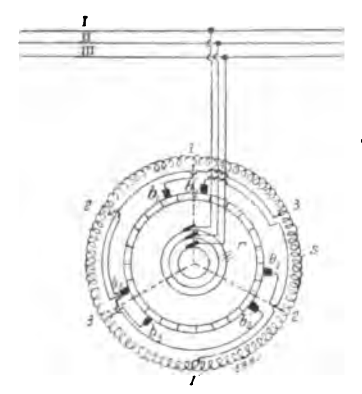


Fig. 7.

Dans la figure 7, on obtient une bonne répartition du courant sur le collecteur, en reliant les points 1, 2, 3, symétriques par rapport à 1′, 2′, 3′, et fermés sur des résistances dans le cas de la compensation des phases, à trois balais frottant sur le collecteur, b'_1, b'_2 et b'_3.

Quand le nombre des pôles augmente, les angles des balais entre eux deviennent plus petits, et le décalage de ces derniers n'est plus suffisant pour faire varier la tension et la phase secondaires : on y arrive en intercalant entre les balais et l'enroulement secondaire des transformateurs, à rapport variable (fig. 8).

Il est logique de faire le secondaire mobile, quand il ne s'agit que de la compensation du décalage, à cause de la faible valeur des tensions secondaires induites, mais quand on veut, en même temps, agir sur la vitesse on obtient des tensions secondaires considérables, et il vaut mieux alors constituer le primaire comme un induit mobile de commutatrice.

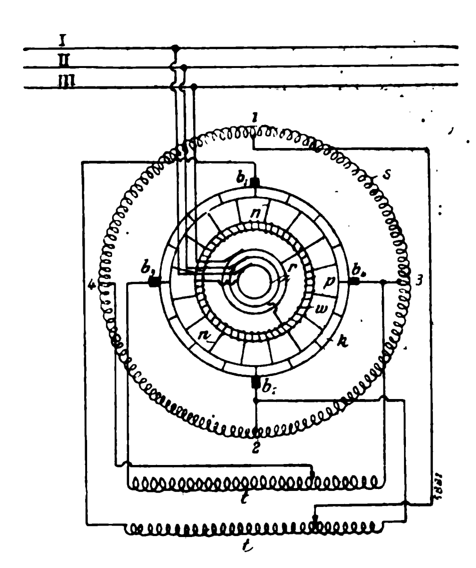


Fig. 8.

Pour un moteur déjà construit, on peut utiliser une excitatrice, jouant un rôle analogue à celui de l'excitatrice de la figure 2. L'excitatrice de la figure 9 permet de plus de faire varier dans de grandes limites la tension, car elle est munie

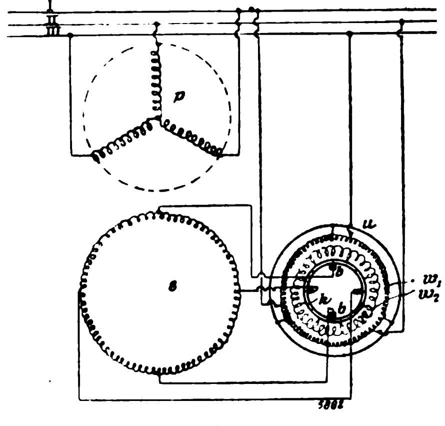


Fig. 9.

de deux enroulements primaires w_1 et w_2 dont l'un est à nombre de bobines variable.

Le moteur de Gœrges est susceptible aussi d'un bon réglage de la vitesse, par l'emploi de transformateurs à rapport variable, mais les courants sont alors irrégulièrement répartis sur le collecteur et le champ fortement déformé.

F. Suppression des étincelles et des sections en court-circuit. — On réalisera un bon fonctionnement du collecteur en employant un nombre suffisant de lames, si la tension n'est pas trop élevée, et aussi en faisant les connexions au collecteur par l'intermédiaire de résistances convenables.

Dans le cas où ces moyens ne suffiraient pas, on peut employer une des dispositions suivantes :

1° Constituer le collecteur de lames séparées par des isolants de même épaisseur, et les balais des deux balais minces assemblés de façon qu'une section ne puisse jamais être mise en court-circuit

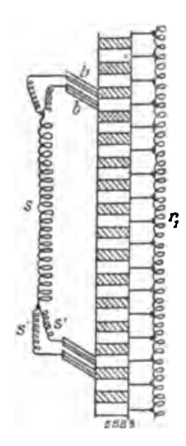


Fig. 10.

par un seul balai (fig. 10). Il faut donner aux résistances s' et s'' des valeurs suffisantes et les placer l'une près de l'autre dans une même encoche, pour que, à la rupture du courant dans une branche, la self-induction d'une bobine soit compensée par l'induction mutuelle de l'autre et qu'il n'en résulte pas d'étincelle ;

2° Former l'enroulement aboutissant au collecteur de deux enroulements séparés isolés, travaillant en parallèle et aboutissant à des lames alternativement disposées sur le collecteur, avec des balais d'épaisseur inférieure à celle d'une lame. De cette façon, il n'y a jamais de section en court-circuit, et il suffit de faire en sorte, comme précédemment, que les deux enroulements soient très voisins, et que l'induction mutuelle annule la self-induction, à la rupture de chaque circuit.

Les différents dispositifs décrits de compensation du décalage et de réglage de la vitesse sont brevetés par l'Union Elektricitæts Gesellschaft.

A. M.

DIVERS

Contribution à l'étude de l'électrode photo-électrique en or à polarisation anodique, par **H. Kochan** [1].

Le fait découvert dès 1839, par M. E. Becquerel qu'entre 2 plaques métalliques identiques plongées dans un électrolyte, on donne lieu, dans certaines circonstances, à une différence de potentiel électrique, en insolant une plaque, l'autre étant maintenue dans l'obscurité, a fait l'objet de nombreuses recherches. Dans la majorité des cas, il s'agissait, pour ces transformations d'énergie radiante en énergie électrique, des composés du cuivre et des sels haloïdes de l'argent, alors que les métaux purs ne se montraient guère sensibles à la lumière. Les plaques insolées prennent, par rapport à l'autre, des potentiels soit positifs, soit négatifs ; la grandeur aussi que le sens de cet effet dépendent, non pas seulement de la nature des substances expérimentées, mais sont également déterminés par la longueur d'onde des rayons incidents. Bien qu'en général, les rayons chimiquement actifs ont aussi une influence plus grande, les maxima de cet effet photo-électrique peuvent varier dans de larges limites.

M. Bose vient d'indiquer une nouvelle combinaison photo-électrique. Ayant préparé une pile à électrodes d'or, au cours de ses recherches sur les effets électromoteurs des gaz élémentaires, ce savant a eu l'occasion de constater des oscillations diurnes très régulières de la force électromotrice, la pile montrant, pendant les heures de soleil, une force électromotrice plus petite que pendant les moindres intensités lumineuses. L'hypothèse suggérée par ce fait que cette pile est sensible à la lumière, n'a pas tardé à être confirmée ; le siège de cette sensibilité photo-électrique est l'anode.

C'est sur le conseil de M. Bose que l'auteur a entrepris une recherche plus approfondie de ces intéressants phénomènes, au point de vue surtout de l'influence qu'exerce la longueur d'onde de la lumière incidente sur la force électromotrice de la pile.

---

[1] Beiträge sur Kenntniss der anodisch polarisierten Goldelektrode. — (Thèse inaugurale présentée à l'Université de Breslau), 93 pages, Breslau, 1902.

Zeitschr. f. phys. Chem., t. XXXIV, p. 701, 1900 ; t. XXXVIII, p. 1, 1901.

La figure 1 représente l'élément de pile dont M. Kochan s'est servi dans ces expériences et où du fil d'or de 0,46 mm de diamètre constitue l'anode. Comme, en raison de la petitesse de la surface des électrodes, il était souhaitable d'augmenter autant que possible la résistance interne de la pile, l'auteur relie les vases contenant les électrodes par des tubes capillaires très longs. On a, de plus, disposé deux anodes employées alternativement et dont la surface était respectivement de 37 et de 53 mm².

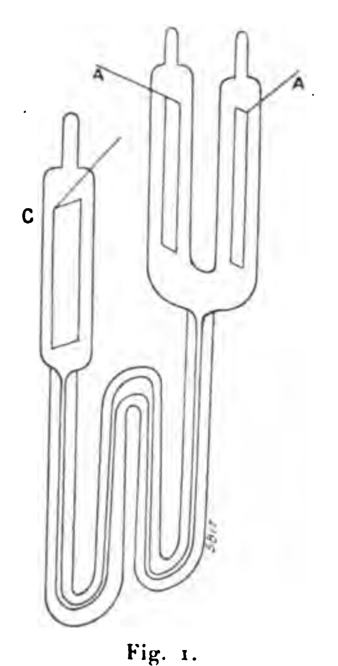


Fig. 1.

Au lieu d'une cathode en or, cette pile comporte une grande cathode en platine, prenant, pendant la charge, le caractère d'une électrode d'hydrogène sensiblement impolarisable. L'électrolyte était constitué par du H^2SO^4 dilué, de poids spécifique 1,128 à la temperature de 31,8°.

Pendant la charge de la pile, qui se faisait au moyen du courant de l'Institut de Physique sous une tension de 110 volts (l'intensité moyenne du courant étant de 0,05 ampère), l'auteur observe que les fils d'or se recouvrent d'une couche brune noirâtre, alors que l'électrode en platine prend, à son bout inférieur, une coloration légèrement carminée.

Les mesures de la force électromotrice ont été faites par la méthode de compensation de Poggendorff; la pile compensatrice était, soit une grande pile de Weston, soit une pile de Clark, fermée à travers un rhéostat de 12000 unités Siemens.

Il résulte des expériences de M. Kochan que la sensibilité photo-électrique des électrodes en or ayant été, pendant longtemps, anodiquement polarisées au sein de l'acide sulfurique dilué, ne se limite point au spectre visible, mais se constate également pour les rayons infrarouges et de Rœntgen ; elle dépend d'ailleurs de la longueur d'onde du rayonnement incident.

L'effet maximum a lieu pour les rayons violets et ceux de Rœntgen ; il consiste à abaisser le potentiel de l'électrode de 0,01 et 0,06 volt respectivement. La longueur d'onde augmentant, cet effet diminue, jusqu'à changer de signe, pour le rouge et l'infra-rouge, dans un des cas étudiés. Ces résultats sont résumés dans des tableaux fort détaillés, bien qu'une comparaison directe des effets dus aux différentes parties du spectre soit, de l'avis de l'auteur lui-même, impossible, en raison de la transparence différente des filtres lumineux (d'après M. Landolt) dont se sert M. Kochan.

Les coefficients de température qui terminent ce travail sont, pour les piles conservées à l'obscurité, négatifs, tandis que l'on obtient des valeurs positives et, absolument parlant, bien plus considérables, pour les piles insolées.

A. Gradenwitz.

Conductibilité électrique des flammes, par **P. Lenard.** *Drude's Annalen*, t. IX, p. 642-651, nov. 1902.

La flamme d'un bec Bunsen se trouve entre deux plaques de métal verticales parallèles, électrisées en sens contraire. Le champ électrique est horizontal. Si on introduit dans cette flamme une perle de sel métallique, la traînée de vapeur qui part de cette perle ne suit pas la direction verticale, mais s'incline plus ou moins et toujours du côté de la plaque négative.

C'est avec les sels des métaux alcalins et alcalino-terreux que ce phénomène est le plus net. L'inclinaison peut atteindre jusqu'à 45°. Elle apparaît bien surtout quand on change le signe de la charge des plaques [1].

Cette expérience permet de suivre aisément

[1] Si la plaque négative est à quelque distance du bord de la flamme, la vapeur colorée sort de la flamme pour continuer son chemin vers la plaque, et forme un appen-



la marche des véhicules d'électricité positive dans la flamme et de reconnaître rapidement les circonstances qui influent sur leur déplacement.

Les sels alcalins ne montrent de déplacement que s'ils sont introduits dans l'intérieur de la flamme : avec les sels alcalino-terreux, on l'observe dans toutes les régions de la flamme et pourtant ils ne se volatilisent d'une manière sensible que dans la région intérieure.

D'ailleurs, une même substance peut présenter une vitesse de migration différente suivant les circonstances : il suffit parfois de traces de matières étrangères pour modifier cette vitesse (1).

A l'augmentation de la vitesse de migration des véhicules métalliques positifs est lié un accroissement de conductibilité de la flamme.

Le phénomène de migration se produit aussi dans la flamme libre : il est le même, que la perle de sel soit ou non dans le champ électrique ou quand le sel fondu dans une coupelle de platine est approché du trou de tirage du Bunsen.

Les vapeurs d'anhydride borique, de sélénium, de tellure, de chlorure cuivrique se dirigent aussi vers la plaque négative : de même, suivant une observation déjà ancienne, les particules de charbon dans une flamme insuffisamment alimentée d'air, et les parties bleues d'une flamme Bunsen.

Mais dans aucun cas on ne peut mettre en évidence un transport de matière, il ne semble donc pas légitime d'assimiler la conductibilité des flammes à la conductibilité électrique.

Ces phénomènes permettent de mesurer par une méthode directe la vitesse des ions positifs (1). Lenard a trouvé pour la vitesse des vapeurs rouges du lithium, 0,08 cm : sec dans un champ de 1 volt : cm, vitesse environ 1 000 fois plus petite que celle trouvée par Wilson.

Reste à savoir si les mesures se rapportent aux véhicules métalliques luminescents ou à d'autres coexistant dans la flamme avec les vapeurs de métal.

L'écart entre les deux vitesses indiquées est un nouvel argument en faveur de l'existence de ces véhicules de deuxième espèce.

Si on calcule la somme des rayons des véhicules et des molécules gazeuses, on obtient dans le cas du carbonate de lithium,

$$s = 6{,}7\ 10^{-6}\,\text{mm},$$

valeur dix fois plus grande qu'on ne devrait l'attendre si les véhicules étaient les atomes ou les molécules.

Il faudrait en conclure que les vapeurs luminescentes du lithium sont formées par des complexes d'atomes.

Cette hypothèse ne s'accorde guère avec la température élevée des flammes et avec les propriétés spectrales.

On éliminerait cette difficulté en supposant que les atomes métalliques dans la flamme ne possèdent pas une charge positive invariable, mais qu'ils cèdent sans cesse de l'électricité positive au milieu ambiant.

A côté des véhicules positifs dans le gaz à l'état neutre, non incandescent, doivent prendre naissance aussi des véhicules négatifs. En raison du caractère unipolaire des flammes, il faut admettre que ces véhicules négatifs sont beaucoup plus mobiles que positifs. Leur vitesse serait,

---

dice latéral où elle est accompagnée d'ailleurs par une partie de la flamme.

Comme source électrique on peut employer une batterie de petits accumulateurs donnant 2 000 volts ou une machine à influence, si les plaques ne sont pas trop près de la flamme.

(1) On introduit dans la flamme une perle de silicate de sodium ; la traînée de vapeur s'incline d'environ 8° ; on approche une petite coupelle de platine pleine d'acide chlorhydrique au-dessous de la perle au bord de la flamme ; l'inclinaison augmente jusqu'à environ 30°.

Il suffit même de placer la coupelle au voisinage d'un des trous d'appel du Bunsen, et de l'approcher et de l'éloigner alternativement pour provoquer des alternatives régulières de la vitesse de migration.

Si on augmente de plus en plus la quantité d'acide chlorhydrique, la vapeur de sodium cesse finalement d'être lumineuse ; mais l'accroissement de l'inclinaison se maintient jusqu'à la limite de la visibilité. L'inclinaison maximum est obtenue immédiatement quand on substitue au silicate le chlorure de sodium.

Les mêmes phénomènes (augmentation de la vitesse de migration par l'acide chlorhydrique) s'observent avec le carbonate et le sulfate de lithium, et aussi avec le chlorure appauvri en chlore par une calcination prolongée. Au début le chlorure donne une vitesse plus grande.

(1) Le brûleur est placé sur le disque d'une machine à force centrifuge et on augmente la vitesse de rotation jusqu'à ce que l'inclinaison de la traînée lumineuse soit de 45° ; à ce moment la vitesse périphérique est égale à la vitesse de migration cherchée.



d'après les mesures de Moreau, d'accord avec celles de Wilson, 1 200 cm : sec par volt : cm.

Pour expliquer cette vitesse très grande, il faut admettre que chacun de ces véhicules possède un grand nombre de charges négatives élémentaires.

D'une manière générale, on pourrait résumer nos connaissances sur la conductibilité des flammes en disant que les atomes de métal ou de charbon contenus dans la flamme, émettent des rayons cathodiques en d'autres termes, sont radioactifs. M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

DEUTSCHE ELEKTROCHEMISCHE GESELLSCHAFT

Congrès de Wurzburg [1]

Sur les électrons positifs, par le professeur **Dr W. Wien**. *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. VIII, p. 585.

On sait que dans l'électrolyse, on obtient un rapport constant entre la quantité d'électricité e qui traverse l'électrolyte et la masse m de matière ; c'est là la loi de Faraday. Pour l'hydrogène, par exemple, si on exprime m en grammes et e en unités électrostatiques absolues, on obtient pour ce rapport la valeur 10 000. La même grandeur peut être déterminée pour les électrons, mais par l'emploi d'autres méthodes, la loi de Faraday n'étant pas valable pour ces actions. Schuster a effectué cette détermination pour les rayons cathodiques en mesurant d'une part, la tension qui était nécessaire pour accélérer une particule de rayons cathodiques dans un tube de décharge, et d'autre part, la déviation magnétique qu'éprouvait cette particule. Cette déviation dépend en effet de la vitesse de la particule et du rapport entre la charge et la masse. Plus ce rapport est grand, et plus grande est la déviation ; d'autre part, la déviation est d'autant plus petite que la vitesse de la particule est grande. Pour déterminer ces deux grandeurs, dont dépend la déviation, on faisait, comme deuxième observation, la détermination du champ qui avait donné l'accélération à la particule. On obtenait ainsi à nouveau une relation entre la grandeur $\frac{e}{m}$ et la vitesse, celle-ci augmentant avec celle-là. Des deux mesures, on déduisait $\frac{e}{m}$ On obtenait ainsi en chiffres ronds 2.10^{-7}. Ainsi, pour ces particules de rayons cathodiques, ou bien la quantité d'électricité est 1 000 fois plus grande que celle des ions-hydrogène, ou bien la masse est 1 000 fois plus petite. Les recherches ne peuvent rien spécifier ; mais on croit plutôt que les charges restent constantes et que ce sont les particules qui ont une plus petite masse.

Les recherches de Kaufmann ont montré que le rapport $\frac{e}{m}$ a la même valeur pour les rayons de Becquerel que pour les rayons cathodiques.

Il n'en est pas ainsi lorsqu'on considère la partie positive dans le transport d'électricité à travers un gaz raréfié. L'auteur a montré, il y a quelques années qu'il existe une certaine analogie entre l'électrolyse ordinaire et le passage de la décharge à travers un gaz raréfié. Dans ce dernier cas, les électricités cheminent dans des sens différents et avec des vitesses différentes, la partie négative de la cathode vers l'anode, et la partie positive, inversement. La seule différence entre les deux phénomènes est l'absence, dans la décharge à travers les gaz, de séparation aux électrodes. Dans certaines circonstances cependant, ces produits peuvent traverser la cathode et poursuivre leur chemin derrière elle. On a alors la possibilité d'observer la partie positive de la décharge. Pendant que les rayons cathodiques partent de la cathode, les parties positives viennent sur la cathode comme dans les électrolytes; mais elles ne s'arrêtent pas à la cathode et passent au travers si celle-ci est perforée. On peut alors faire de l'autre côté de la cathode les mêmes mesures que pour les rayons cathodiques et déterminer le rapport $\frac{e}{m}$.

[1] Voir *Écl. Élec.*, t. XXXIII, p. 286, 357 et 460, 22 nov., 6 et 27 déc. 1902 ; t. XXXIV, p. 24 et 220, 3 janv. et 9 février 1903.

Au lieu de mesurer la tension, on peut aussi mesurer la déviation électrostatique. Dans ce but, les particules arrivent entre les deux plaques *aa* (fig. 1) d'un condensateur chargé à un certain potentiel. L'électrode positive de ce condensateur repousse ces radiations que l'électrode négative attire. De la grandeur de ces actions ainsi que de la tension du condensateur, on obtient les mêmes résultats que de la mesure de la tension qui donne l'accélération aux particules.

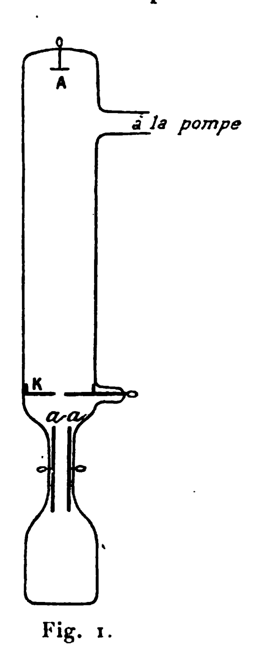


Fig. 1.

On soumet ces rayons simultanément aux effets magnétiques et électro-statiques, de telle façon que les deux déviations sont perpendiculaires et on étudie la fluorescence qui résulte sur une paroi de verre située en regard. On démontre par le calcul qu'une déviation rectiligne suppose une constance de la vitesse des particules.

Dans le cas des rayons cathodiques, on obtient des taches de fluorescence en forme de points, d'un côté, celle due à la déviation magnétique et de l'autre côté, celle due à la déviation électrostatique. Les choses se passent différemment avec les électrons positifs. Ici, on obtient une bande fondue qui est entièrement continue. Il reste toujours une partie de rayons non déviés. Ces différents degrés de déviation montrent que l'on est en présence, soit de rayons de vitesse très différente, soit de rayons ayant un rapport très différent entre la masse et la charge.

En combinant les déviations magnétique et électrostatique, on peut séparer complètement la vitesse et le rapport entre la masse et la charge. On trouve ainsi que les vitesses diffèrent très peu, tandis que le rapport précédent est très variable. Pour les rayons cathodiques, ce rapport possède la même valeur pour les différentes tensions et pour les différents gaz. Pour les électrons positifs, les parties à peine déviées possèdent une quantité d'électricité extraordinairement petite, pendant que les parties plus déviées possèdent une quantité d'électricité plus grande. Pour la limite extrême de la déviation, on trouve pour le rapport de la masse à la charge, environ la même valeur que pour l'hydrogène, et ceci dans un gaz quelconque dont on a éliminé toute trace d'hydrogène. On peut faire l'hypothèse que ce sont principalement les ions-hydrogène qui cheminent avec l'électricité positive en sens inverse des rayons cathodiques.

L'auteur a pris les précautions les plus minutieuses pour enlever toute trace d'hydrogène et il a toujours obtenu le même résultat. Pour expliquer que la plupart des électrons sont moins déviés, il pense que les particules éprouvent sur leur chemin une variation du rapport de la masse à la charge, soit que la masse devienne plus grande, soit que la charge diminue. Il est vraisemblable d'admettre que la masse ne varie pas, mais que ces électrons positifs sont en partie neutralisés par les électrons négatifs, ce qui diminue leur charge.

Des mesures quantitatives de l'auteur, on peut conclure que, contrairement aux électrons négatifs, les électrons positifs possèdent des valeurs excessivement variables du rapport entre la masse et la charge ; mais on ne peut pas assurer que la concordance avec l'hydrogène est due aux ions gazeux eux-mêmes, ou est purement accidentelle. On peut dire, d'autre part, que les électrons positifs ne gardent pas sur leur chemin comme les rayons cathodiques un rapport invariable de la masse à la charge, mais que, par neutralisation, cette charge diminue sans cesse, une partie seulement, celle qui correspond à la déviation la plus grande, ayant gardé constant le rapport précédent.

La fluorescence due à ces électrons positifs est plus faible que celle des rayons cathodiques. Les rayons fortement déviés donnent une teinte semblable verdâtre, tandis que les autres présentent des colorations qui varient avec la nature



du gaz ; la fluorescence est verte avec l'hydrogène, brune avec l'oxygène, rouge-saumon avec la vapeur de mercure.

L'auteur a observé en outre, avec ces électrons positifs, une fluorescence très vive de certains oxydes métalliques : aluminium, magnésium et zinc. Cependant, celle-ci n'était pas obtenue avec les oxydes précipités et déshydratés, mais seulement avec des morceaux de ces métaux oxydés dans la flamme.

Mais cette fluorescence disparaît en quelques minutes et il se produit toujours en même temps un dégagement de gaz. On a reconnu à l'analyse spectrale que ce gaz est l'oxygène : mais il est possible aussi d'avoir d'autres gaz.

La disparition de la fluorescence correspond également à une variation de la surface du corps ; c'est ainsi que l'oxyde de zinc devient jaune et reste jaune après cessation de la fluorescence.

Discussion. — Dans la discussion qui suit cette communication, W. Hittorf insiste sur les difficultés qu'on rencontre à rendre un tube de verre exempt de vapeur d'eau par suite des propriétés hygroscopiques de cette substance, propriétés qu'elles doit aux alcalis. Heraeus construit actuellement des tubes en silice pure, aussi transparents que le verre, et qui seraient tout à fait recommandés pour des travaux de ce genre.

L. J.

Sur l'électrolyse des chlorures alcalins avec électrodes platinées, par **F. Fœrster** et **E. Müller**. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. VIII, p. 515.

Platinage. — Certains auteurs (Haber et Grinberg, Wohlwill, E. Muller, Lorenz et Wehrlin) ont déjà signalé les différences d'action des anodes selon qu'elles sont en platine poli ou en platine platiné. La façon de platiner exerce une certaine influence et il convient d'opérer de manière à obtenir toujours les mêmes actions et cela par un procédé simple. On y parvient, comme l'ont indiqué Lummer et Kurlbaum, en employant 1 gr d'acide chloroplatinique cristallisé $H^2PtCl^6, 6H^2O$ (renfermant 0,38 gr de platine) et 0,008 gr d'acétate de plomb dans 30 cm³ de solution, et en chargeant l'électrode à platiner pendant 1 à 1,5 minute à une densité de courant de 0,03 ampère par centimètre carré.

Le dépôt très noir, velouté, mais non spongieux, est purifié par un court lavage suivi d'un trempage dans une grande quantité d'eau distillée. Les essais entrepris ici ont eu lieu avec ce platinage. Comme il arrivait quelquefois qu'une partie du dépôt de platine tombait pendant l'électrolyse, on ramenait l'électrode à son état normal par une électrolyse d'une demi-minute dans les conditions ci-dessus.

Action du platinage de l'anode sur l'électrolyse des solutions neutres de chlorures alcalins. — a. *Recherches sans addition de chromate.* — 200 cm³ d'une solution saturée de chlorure de sodium très pur furent électrolysés à 15° entre 3 électrodes de 60 × 25 mm ; les deux électrodes extrêmes, en feuille de platine uni formaient la cathode ; l'anode placée intérieurement était platinée. L'intensité de courant, 2 ampères, correspondait à la densité de courant 0,067 ampère par centimètre carré.

Comme l'ont déjà trouvé Lorenz et Wehrlin, on voit que la tension aux bornes est plus élevée de 0,5 volt dans le cas d'anode polie, et que le dégagement d'oxygène est aussi plus grand dans ce dernier cas. Ces deux auteurs avaient trouvé, en outre, qu'il ne se produit pas de chlorate avec l'anode platinée. La deuxième partie des essais montre, contrairement à ces conclusions, que le rendement en chlorate est à peu près le même.

b. *Essais avec addition de chromate.* — Les essais étaient effectués sur 200 à 220 cm³ d'une solution 5,1 fois normale (renfermant 29,8 gr NaCl dans 100 cm³) ou sur une solution de concentration trois fois moindre. Toutes ces solutions étaient additionnées de 0,2 gr de chromate jaune de potassium pour 100 cm³ d'électrolyte. L'électrolyse était poussée jusqu'à valeur constante de la concentration en hypochlorite, toute l'action se portant alors sur la formation du chlorate. Les tableaux suivants indiquent les résultats obtenus.

A) Essai avec solution 5,1 fois normale de NaCl. I. Intensité constante, 2 ampères ; $D_A = 0,067$ ampère : cm².

Essai n° 1. — *Anode platinée.*

TEMPS depuis le commencement de l'essai, en heures.	TENSION aux bornes, en volts.	RÉDUCTION en p. 100.	DÉGAGEMENT d'oxygène, en p. 100.	RENDEMENT en quantité, en p. 100.	OXYGÈNE, EN GRAMMES pour 100 cm³ d'électrolyte. dans l'hypochlorite.	dans le chlorate.
0,5	3,49	31,2	0,4	68,4	0,116	0,007
1	3,50	48,1	0,7	51,2	0,196	0,000
1,5	3,49	59,4	1,5	39,1	0,268	0,000
2	3,52	65,4	0,8	33,7	0,304	0,004
2,5	3,51	69,2	0,8	30,0	0,344	0,010
3	3,49	71,5	1,2	27,3	0,376	0,008
3,5	3,47	—	1,1	—	0,413	0,010
4	3,52	71,9	1,2	26,9	0,424	0,027
4,5	3,52	75,1	1,2	23,7	0,424	0,040

La quantité d'électricité totale à ce moment correspondait à 2,868 gr d'oxygène. Dans l'électrolyte, il y avait 1,1363 gr d'oxygène. D'où un rendement en quantité de 0,396. Environ 1/10 de l'oxygène provenait du chlorate. On reprenait les essais après interruption de la nuit et replatinage de l'anode.

5	3,29	—	—	—	0,456	0,040
6	3,51	84,3	2,0	13,7	0,468	0,076
7	3,52	84,5	2,5	13,0	0,464	—
8	3,52	86,1	2,3	11,6	0,464	0,136
9	3,43	85,8	3,0	11,2	0,452	0,159

A ce moment, la quantité totale d'électricité correspondait à 2,83 gr d'oxygène. L'hypochlorite en renfermait 0,0624 gr, soit un rendement de 2,2 p. 100, et le chlorate 0,3278 gr, soit un rendement de 11,6 p. 100.

Essai n° 2. — *Anode polie.*

TEMPS depuis le commencement de l'essai, en heures.	TENSION aux bornes, en volts.	RÉDUCTION en p. 100.	DÉGAGEMENT d'oxygène en p. 100.	RENDEMENT en quantité, en p. 100.	OXYGÈNE, EN GRAMMES pour 100 m³ d'électrolyte. dans l'hypochlorite.	dans le chlorate.
0,5	3,93	29,2	2,2	68,6	0,108	0,000
1	4,11	42,8	2,4	54,8	0,176	0,001
1,5	4,12	53,1	3,1	43,8	0,248	0,013
2	4,19	57,8	4,3	37,9	0,276	0,032
3	4,20	61,1	4,9	34,0	0,324	0,053
3,5	—	70,1	5,9	24,0	0,360	—
4	4,22	70,7	6,2	23,1	0,360	0,074

A ce moment, la quantité totale d'électricité correspondait à 2,491 gr d'oxygène. Il y en avait 0,9057 gr dans l'électrolyte, d'où un rendement de 36,4 p. 100. Environ 1/5 de l'oxygène provenait du chlorate.

5	4,20	73,4	6,4	20,2	0,392	0,089
6	4,22	76,6	7,1	16.3	0,384	0,150
7	4,26	77,2	7,1	15,7	0,396	0,185
8	4,28	75,9	7,3	16,8	0,376	0,243

A ce moment, la quantité totale d'électricité correspondait à 2,478 gr d'oxygène. Il s'en était combiné à nouveau 0,0378 gr dans l'hypochlorite (soit un rendement de 1,6 p. 100) et 0,391 gr dans le chlorate (soit un rendement de 15,8 p. 100).

1° Température, 12 à 13° C.

Essai n° 3. — *Anode platinée.*

Temps depuis le début de l'électrolyse, en heures.	Tension du bain en volts.	Dégagement d'oxygène à l'anode, en p. 100 du courant.	Oxygène en grammes pour 100 cm³.	
			dans l'hypochlorite.	dans le chlorate.
0 5	3,23	1,2	0,124	0,00
1	3,24	1,5	0,240	0,00
1,5	3,24	1,1	0,360	0,00
2	3,32	2,6	0,460	0,00
2,5	3,35	3,1	0,572	0,00
3	3,40	6,6	0,656	0,033
3,5	3,42	16,6	0,712	0,081
4	3,46	31,5	0,748	0,137
4,5	3,51	29,1	0,736	0,222
5	3,58	29,1	0,760	0,283

La quantité totale d'électricité correspondait à 3,082 gr d'oxygène.

Oxygène combiné par électrolyse :

Dans l'hypochlorite. . 1,809 gr = 58,7 p. 100 de rendement.
Dans le chlorate . . . 0,721 » 23,4 »

Total. . . . 2,530 gr = 82,1 p. 100 de rendement.

Essai n° 4. — *Anode polie.*

Temps depuis le début de l'électrolyse, en heures.	Tension du bain en volts.	Dégagement d'oxygène à l'anode, en p. 100 du courant.	Oxygène en grammes pour 100 cm³.	
			dans l'hypochlorite.	dans le chlorate.
0,5	3,91	2,8	0,124	0,00
1	3,90	3,4	0,228	0,008
1,5	3,98	5,5	0,324	0,023
2	4,02	9,5	0,408	0,047
2,5	4,08	11,2	0,488	0,071
3	4,08	16,3	0,548	0,103
3,5	4,09	22,3	0,596	—
4	4,10	27,3	0,616	0,216
4,5	4,08	34,1	0,600	0,301
5	4,11	28,6	0,624	0,354

La quantité totale d'électricité correspondait à 3,069 gr. d'oxygène.

Oxygène combiné par électrolyse :

Dans l'hypochlorite. . 1,527 gr = 49,7 p. 100 de rendement.
Dans le chlorate . . . 0,836 » 27,3 »

Total. . . . 2,363 gr = 77,0 p. 100 de rendement.

2° Température, 50°.

Essai n° 5. — *Anode platinée.*

Temps depuis le début de l'électrolyse, en heures.	Tension du bain, en volts.	Dégagement anodique d'oxygène, en p. 100 du courant.	Oxygène en grammes pour 100 cm³.	
			dans l'hypochlorite.	dans le chlorate.
0,5	2,87	2,9	0,116	0,012
1	2,88	2,9	0,228	0,023
1,5	2,89	5,2	0,324	0,030
2	2,91	11,2	0,392	0,053
2,5	2,93	17,0	0,432	0,124
3	2,94	26,4	0,432	0,219
3,5	2,97	26,6	0,444	0,282
4	2,97	28,3	0,444	—
4,5	2,97	27,7	0,444	0,413

La quantité totale d'électricité correspondait à 2,775 gr d'oxygène.

Oxygène combiné par électrolyse :

Dans l'hypochlorite. . 1,095 gr = 39,7 p. 100 de rendement.
Dans le chlorate . . . 0,988 » 35,8 »

Total. . . . 2,083 gr = 75,5 p. 100 de rendement.

Essai n° 6. — *Anode polie.*

Temps depuis le début de l'électrolyse, en heures.	Tension du bain, en volts.	Dégagement anodique d'oxygène, en p. 100 du courant.	Oxygène en grammes pour 100 cm³.	
			dans l'hypochlorite.	dans le chlorate.
0,5	3,60	6,3	0,116	—
1	3,61	8,6	0,196	0,023
1,5	3,61	13,3	0,264	0,05
2	3,63	19,9	0,308	0,110
2,5	3,65	25,1	0,340	0,153
3	3,66	30,0	0,352	0,219
3,5	3,67	30,4	0,352	0,300
4	3,68	29,9	0,352	0,380
4,5	3,68	30,1	0,352	0,440

La quantité totale d'électricité correspondait à 2,730 gr d'oxygène.

Oxygène combiné par électrolyse :

Dans l'hypochlorite. . 0,869 gr = 31,8 p. 100 de rendement.
Dans le chlorate . . . 1,054 » 38,6 »

Total. . . . 1.923 gr = 70,4 p. 100 de rendement.

II. Densité de courant variable. Anode platinée. Température, 13° C. Volume du liquide, 150 cm³.

Essai n° 7.

I = 0,5 ampère. — D_A = 0,0083 ampère : cm². Tension, 2,25 à 2,36 volts.

Temps depuis le début de l'essai, en heures.	Amp.-h. pour 100 cm³.	Dégagement anodique d'oxygène, en p. 100 du courant.	Oxygène en grammes pour 100 cm³. dans l'hypochlorite.	dans le chlorate.
1,25	0,42	0,7	0,114	0,00
2,25	0,75	1,5	0,220	0,00
4,5	1,50	5,5	0,420	0,022
6,25	2,08	12,2	0,544	0,098
8,25	2,75	21,3	0,620	0,187
23,25	7,75	30,8	0,610	1,247
25,25	8,3	30,0	—	—

La quantité totale d'électricité correspondait à 3,804 gr d'oxygène.

Oxygène combiné par électrolyse :

Dans l'hypochlorite. .	0,917 gr = 24,1 p. 100 de rendement.	
Dans le chlorate . . .	1,874 » 49,5	»
Total. . . .	2,791 gr = 73,6 p. 100 de rendement.	

Essai n° 8.

I = 5 ampères. — D_A = 0,083 ampère : cm².

Temps depuis le début de l'essai, en heures.	Amp.-h. pour 100 cm³.	Dégagement anodique d'oxygène, en p. 100 du courant.	Oxygène en grammes pour 100 cm³. dans l'hypochlorite.	dans le chlorate.
0,25	0,80	0,7	0,266	—
0,5	1,67	1,8	0,528	—
1	3,33	19,1	0,872	0,134
1,5	5,00	34,6	0,888	0,501
2	6,66	34,7	0,860	0,881
3	10,00	34,5	0,870	1,655
—	—	—	—	—

La quantité totale d'électricité correspondait à 4,855 gr d'oxygène.

Oxygène combiné par électrolyse :

Dans l'hypochlorite. .	1,249 gr = 25,7 p. 100 de rendement.	
Dans le chlorate . . .	2,377 » 49,0	»
Total. . . .	3,626 gr = 74,7 p. 100 de rendement.	

B) Essai avec solution NaCl, 1,7 fois normale. Intensité de courant, 0,5 ampère; D_A = 0,0083 ampère : cm². Volume du liquide, 170 cm³.

I. Température, 14° C.

Essai n° 9. — *Anode platinée*

Temps depuis le début de l'essai, en heures.	Tension aux bornes, en volts.	Dégagement anodique d'oxygène, en p. 100 du courant.	Oxygène en grammes pour 100 cm³. dans l'hypochlorite.
1,25	2,41	1,8	0,124
—	—	—	—
2,25	—	3,2	0,204
3,25	2,47	5,1	0,284
4,25	—	9,8	0,352
5,25	—	12,6	—
7,25	—	27,7	0,488
8,25	2,59	30,4	—
25	—	33,2	0,480
26,5	—	33,8	0,476

La quantité totale d'électricité correspondait à 4,030 gr d'oxygène.

Oxygène combiné pendant l'électrolyse :

Dans l'hypochlorite. .	0,776 gr = 19,2 p. 100 de rendement.	
Dans le chlorate . . .	2,065 » 51,3	»
Total. . . .	2,841 gr = 70,5 p. 100 de rendement.	

Essai n° 10. — *Anode polie.*

Temps depuis le début de l'essai, en heures.	Tension aux bornes, en volts.	Dégagement anodique d'oxygène, en p. 100 du courant.	Oxygène en grammes pour 100 cm³. dans l'hypochlorite.
1,25	—	5,6	0,092
1,66	3,34	8,7	—
2,25	—	10,0	0,168
3,25	3,38	14,8	0,224
—	—	—	—
5,25	—	26,0	0,288
7,25	—	32,9	0,300
8,75	3,38	33,8	—
23,75	—	33,9	0,280
25,25	3,54	34,5	0,288

La quantité totale d'électricité correspondait à 3,922 gr d'oxygène.

Oxygène combiné pendant l'électrolyse :

Dans l'hypochlorite. .	0,469 gr = 12,0 p. 100 de rendement.	
Dans le chlorate . . .	2,187 » 55,7	»
Total. . . .	2,656 gr = 67,7 p. 100 de rendement.	

II. Température, 50° C.

Essai n° 11. — *Anode platinée.*

TEMPS depuis le début de l'essai, en heures.	TENSION aux bornes, en volts.	DÉGAGEMENT anodique d'oxygène, en p. 100 du courant.	OXYGÈNE en grammes pour 100 cm³, dans l'hypochlorite.
1,75	2,40	8,3	0,152
2,5	—	11,7	0,180
3,25	—	17,4	0,216
6,25	2,52	29,3	0,228
7,25	—	27,0	0,232
8,75	—	30,9	0,236
24,25	2,51	27,1	0,222

La quantité totale d'électricité correspondait à 3,673 gr d'oxygène.

Oxygène combiné par électrolyse :

Dans l'hypochlorite. . 0,359 gr = 9,8 p. 100 de rendement.
Dans le chlorate . . . 2,236 » 60,9 »
Total. . . . 2,595 gr = 70,7 p. 100 de rendement.

Essai n° 12. — *Anode polie.*

TEMPS depuis le début de l'essai, en heures.	TENSION aux bornes, en volts.	DÉGAGEMENT anodique d'oxygène, en p. 100 du courant.	OXYGÈNE en grammes pour 100 cm³, dans l'hypochlorite.
1,5	—	12,4	0,092
2,25	—	21,7	0,136
—	—	—	—
5,25	3,01	36,5	0,148
—	—	—	—
8,75	—	35,6	0,148
24,75	3,08	33,5	0,154

La quantité totale d'électricité correspondait à 3,955 gr d'oxygène.

Oxygène combiné par électrolyse :

Dans l'hypochlorite. . 0,254 gr = 6,4 p. 100 de rendement.
Dans le chlorate . . . 2,248 » 56,9 »
Total. . . . 2,502 gr = 63,3 p. 100 de rendement.

c. *Discussion des essais.* — Ces essais montrent que Lorenz et Wehrlin se sont trompés dans leurs conclusions sur l'influence du platinage sur la formation électrolytique du chlorate. En réalité, le platinage réduit la tension d'environ 0,5 volt, et la formation de chlorate se fait avec un rendement à peu près égal que l'anode soit platinée ou polie.

Le platinage de l'anode n'exerce une influence que sur les actions qui précèdent la formation du chlorate. C'est ce que mettent en évidence les courbes des figures 1 et 2.

Le trait plein se rapporte à l'anode platinée et le trait ponctué à l'anode polie.

Les concentrations en oxygène dans l'hypochlorite et dans le chlorate (échelle de gauche) sont exprimées en grammes pour 100 cm³. Le dégagement d'oxygène est exprimé (échelle de droite) en pour 100 de la quantité d'électricité. La figure 1 exprime le résultat des essais n°s 3 et 4; la figure 2, celui des essais n°s 5 et 6.

Le dégagement d'oxygène, pour la plus basse température, est plus faible, dans la première partie, avec l'anode platinée; il croît ensuite plus rapidement et atteint sensiblement la même valeur constante que dans le cas de l'anode polie.

Dans les deux cas, cette valeur constante est atteinte en même temps que la constance de la teneur en hypochlorite. La transformation de l'hypochlorite en chlorate correspond donc, comme il a déjà été démontré, au dégagement d'oxygène. Pour l'anode polie, la formation du chlorate commence dès le début, en même temps que le dégagement d'oxygène. Avec l'anode platinée, au contraire, il ne se forme pas du tout de chlorate au début, mais seulement de l'hypochlorite. On peut dire que l'unique différence relative à la formation du chlorate est que celle-ci commence un peu plus tard, et par suite, pour une concentration plus élevée d'hypochlorite, dans le cas de l'anode platinée que dans celui de l'anode polie. Les mêmes faits se produisent à la température plus élevée, 50° C (fig. 2), mais ici le dégagement d'oxygène et par suite la formation du chlorate, surviennent plus tôt.

Influence catalytique du noir de platine sur les solutions d'hypochlorites et d'acide hypochloreux. — a. *Action sur l'hypochlorite.* — Des solutions 1/3 normales d'hypochlorite de sodium renfermant de l'alcali en excès (concentration maxima centi-normale en alcali) se décomposent, sous l'influence du noir de platine, en chlorure de sodium et oxygène qui se dégage. La transformation en chlorate ne s'étend que sur des traces très faibles d'hypo-

chlorite. La vitesse de catalyse ne varie pas sensiblement avec les quantités croissantes de chlorure de sodium; mais elle baisse considérablement si la solution est alcaline normale.

Une solution d'hypochlorite presque neutre, dont la catalyse par le platine platiné, nécessite plusieurs heures à la température ordinaire, est décomposée en quelques minutes à 70° C.

b. *Actions sur l'acide hypochloreux.* — Dans ce cas, le noir de platine donne lieu aux deux réactions

$$HOCl = HCl + O \qquad (1)$$

et

$$3\,HOCl = HO^3Cl + 2HCl \qquad (2)$$

De plus, l'acide chlorhydrique libre agit sur l'acide hypochloreux, d'après l'équation

$$HOCl + HCl = H^2O + Cl^2 \qquad (3)$$

Les produits définitifs de la décomposition sont donc l'oxygène, l'acide chlorhydrique et le chlore. Par l'emploi de solutions 0,28 à 0,85 fois normales de HOCl, les quantités d'oxygène dans le chlorate variaient de 15 à 24 p. 100 et celles de l'oxygène dégagé de 33 à 27 p. 100 de celles de l'oxygène disparaissant de l'hypochlorite.

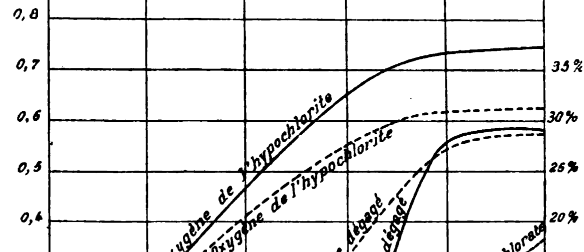
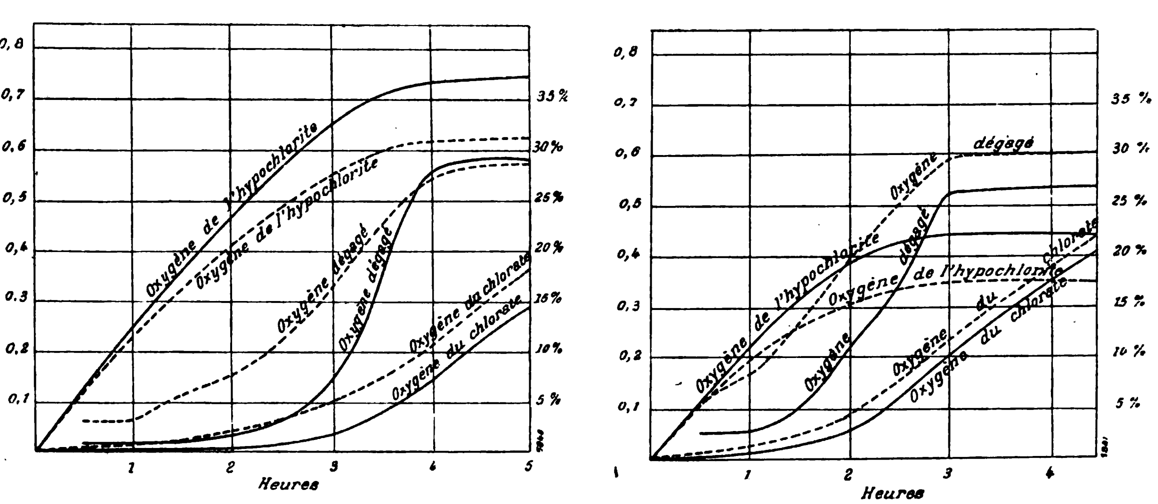



Fig. 1 et 2. — Influence du platinage sur la formation électrolytique du chlorate. Trait plein, anode platinée; trait ponctué, anode polie. — 1. Résultats des essais 3 et 4. — 2. Résultats des essais 5 et 6.

Si, par l'électrolyse avec anode platinée, le courant fournissait l'oxygène de l'hypochlorite avec un rendement égal à 100 p. 100 et si la décomposition catalytique de l'acide hypochloreux se produisait sitôt sa formation, le dégagement d'oxygène devrait atteindre 33 à 27 p. 100 du courant, c'est-à-dire la valeur que l'on observe en pratique. Mais cependant l'action purement chimique du noir de platine ne peut pas expliquer la formation anodique du chlorate, avec anode platinée, car la quantité de chlorate formé par action catalytique est beaucoup trop petite pour expliquer le rendement élevé qu'on obtient. D'autre part, la catalyse de l'acide hypochloreux est beaucoup trop lente. C'est ainsi qu'en employant 15 cm³ de solution d'acide hypochloreux dans lesquelles plongeait un cylindre de platine de 4 cm de hauteur et de 5 cm de diamètre, les résultats suivants ont été obtenus à la température 13° à 15° C.

ESSAI N°	CONCENTRATION de l'acide hypochloreux.	GRAMMES d'oxygène de l'hypochlorite dans les 15 cm³ de solution.	CM³ D'OXYGÈNE dégagés pendant une heure (ramenés à 0° C. et 760 mm de pression).
13	0,28 normale	0,066 gr.	7,5 cm³
14	0,45 »	0,105 »	10,8 »
15	0,85 »	0,206 »	29,0 »

L'auteur en conclut que le dégagement d'oxygène à l'anode et la formation du chlorate ne sont dus qu'en très petite partie à l'action catalytique du noir de platine et résultent essentiellement de l'électrolyse.

Diminution de tension, pendant l'électolyse des chlorures alcalins, dus au platinage de



L'ANODE. — Dans ces recherches, on prenait environ 180 cm³ d'une solution renfermant, pour 100 cm³, 28 gr de chlorure de sodium pur et 0,2 gr de chromate jaune de potassium.

Comme dans les essais précédents, les électrodes avaient 30 cm² de surface (des deux côtés) et étaient éloignées de 2 cm. La température était maintenue constante, de 9,5 à 10° C. Les mesures de tension étaient effectuées à l'aide d'un voltmètre de précision de Siemens et Halske.

Dans les tableaux suivants, qui se rapportent à ces essais, la colonne *p* indique les valeurs de la tension mesurée aussitôt après la rupture du courant d'électrolyse; c'est ce que Lorenz et Wehrlin appellent la « tension de décharge de polarisation. »

Dans tous ces essais, on employait les cathodes platinées avec lesquelles le potentiel peut être considéré comme constant pour une intensité déterminée, tandis qu'avec les cathodes polies la tension est variable et plus élevée d'environ 0,4 volt ainsi que les auteurs précédents l'ont constaté.

A) Essais avec densité de courant élevée.

Intensité du courant, 2 ampères; $D_A = 0,067$ ampère par centimètre carre.

ESSAI N° 16. — *Anode platinée.*

TEMPS depuis le début de l'essai ou depuis l'interruption.	TENSION aux bornes en volts.	*p* en volts.	OXYGÈNE dans l'hypochlorite en gr pour 100 cm³.
0,25 minute	2,70	—	—
0,5 »	2,77	—	—
1 »	2,78	—	—
2 »	2,78	—	—
4 »	2,78	—	—
8 »	2,80	—	—
13 »	2,82	—	0,09
24 »	2,84	2,22	0,143
75 »	2,86	—	—
3,25 heures	2,89	2,22	1,028
4 »	2,90	—	—
5 »	2,90	—	—
6 »	2,91	—	—
7,5 »	2,92	2,22	1,056
10,75 »	2,94	—	—
21 »	2,98	2,22	1,016
25,5 »	3,00	—	—
29,5 »	3,00	2,22	1,000

Le courant est alors inversé pendant 0,5 minute, puis envoyé à nouveau dans le premier sens. Après 2,5 minutes survient l'hydrogène aux cathodes.

2,5 minutes	2,85	—	—
5 »	2,88	—	—
12 »	2,90	—	—
35 »	2,97	—	—
60 »	2,99	—	1,056

L'anode était replatinée puis ensuite replongée dans la solution précédemment utilisée.

2,5 minutes	2,75	—	—
4 »	2,79	—	—
8 »	2,82	—	—
10 »	2,84	—	—
15 »	2,88	—	1,024
17 »	2,89	—	—
18 »	2,92	2,22	—
21 »	2,97	—	—

ESSAI N° 17. — *Anode polie.*

TEMPS depuis le début de l'essai ou depuis l'interruption.	TENSION aux bornes en volts.	*p* en volts.	OXYGÈNE dans l'hypochlorite en gr pour 100 cm³.
0,5 minute	2,90	—	—
1 »	2,90	—	—
2 »	2,91	—	—
3 »	2,94	—	—
5 »	2,99	—	—
10 »	3,16	—	—
20 »	3,37	—	—
40 »	3,45	—	—
60 »	3,54	—	0,314
92 »	3,58	—	—
2 heures	3,60	—	0,560
5,5 »	3,72	—	0,614
8,5 »	3,76	—	0,648
23 »	3,90	—	—
25 »	3,92	—	—
29 »	3,96	2,20	0,640

Immédiatement après l'interruption du courant, nécessitée par la détermination de *p*, le circuit était refermé.

immédiatement	3,4	—	—
0,5 minute	3,55	—	—
1 »	3,62	—	—
2 »	3,70	—	—
5 »	3,72	2,20	—

Les électrodes étaient introduites dans un électrolyte neuf, l'anode ayant été recuite.

immédiatement	2,80	—	—
0,25 minute	2,85	—	—
1 »	2,87	—	—
2 »	2,87	2,22	—
5 »	2,93	—	—
7 »	3,00	—	—
10 »	3,13	2,22	—
—	—	—	—
—	—	—	—
—	—	—	—

B) Essais avec faible densité de courant.

Intensité de courant, 0,5 ampère; $D_A = D_C = 0,017$ ampère par centimètre carré.

Essai n° 18. — *Anode platinée.*

TEMPS depuis le début de l'essai.	TENSION aux bornes en volts.	OXYGÈNE de l'hypochlorite en gr pour 100 cm³.
0,5 minute	2,40	—
4 »	2,40	—
25 »	2,40	—
3 heures	2,40	0,256
5 »	2,40	0,412
6 »	2,40	0,496
8 »	2,40	0,616
21 »	2,42	0,696
—	—	—
—	—	—
—	—	—
—	—	—
—	—	—

p = 2,1 volts ; la tension descend bientôt à 2,0 volts et de là baisse très lentement.

Essai n° 19. — *Anode polie.*

TEMPS depuis le début de l'essai.	TENSION aux bornes en volts.	OXYGÈNE de l'hypochlorite en gr pour 100 cm³.
1 minute	2,72	—
2 »	2,78	—
5 »	2,85	—
10 »	2,91	—
20 »	2,97	—
30 »	3,00	—
70 »	3,08	—
2 heures	3,10	0,176
5 »	3,12	0,300
6 »	3,13	0,316
8 »	3,14	0,348
9,5 »	3,14	0,350
22 »	3,17	0,358

v = 2,1 volts ; cette tension baisse très rapidement, sans point d'arrêt.

Ces recherches n°s 16 à 19 montrent bien la grande différence dans la tension du bain, selon qu'on emploie l'anode platinée ou l'anode polie. L'essai suivant (n° 20) indique d'ailleurs que c'est bien à l'anode qu'il faut attribuer la cause de cette différence.

Dans cet essai on employait une solution neutre de chlorure de sodium à 20 p. 100, additionnée de chromate et électrolysée entre

Essai n° 20.

TEMPS depuis le début de l'essai.	TENSION anodique.	TEMPÉRATURE du bain.
0,25 minute	— 1,836	—
1 »	— 1,843	—
2 »	— 1,842	—
7 »	— 1,843	11,6° C.
15 »	— 1,842	—
60 »	— 1,842	12,0
4,5 heures	— 1,847	12,9
21,5 »	— 1,8475	13,7

deux feuilles de platine platiné de 12 cm² à l'intensité 0,3 ampère (densité de courant, 0,021 ampère par centimètre carré).

Les mesures de tension anodique étaient effectuées à l'aide de l'électrode normale-hydrogène sous la forme décrite par Wilsmore [1].

On remarque la constance de la tension aux bornes (essai 18) et celle de la tension cathodique (essai 20) pour des densités de courant à peu près semblables.

On peut en conclure que la tension cathodique reste constante et que par suite les variations de la tension aux bornes dans le cas de l'anode polie proviennent réellement de la tension anodique.

Les essais 16 à 19 montrent que l'anode platinée présente une tension constante aux faibles densités de courant mais pas aux densités élevées.

Lorsqu'on a recuit l'anode polie (essai 17), on obtient comme tension initiale aux bornes une valeur à peu près semblable à celle que donne l'anode platinée ; mais, après quelques minutes, la tension monte, rapidement d'abord, plus lentement ensuite, sans devenir constante après une longue durée d'électrolyse. En interrompant le courant et refermant immédiatement, on obtient une tension du bain supérieure d'environ 0,5 volt à la tension du début mais inférieure à la tension au moment de l'interruption. Cette tension monte ensuite plus lentement ; un essai semblable a montré qu'il fallait 1,5 heure avant de retrouver la valeur correspondant au moment de l'interruption.

(*A suivre.*)

[1] *Zeitschrift f. physik. Chem.* t. XXXV, p. 291.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXXIV · Samedi 7 Mars 1903. 10e Année. — N° 10

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SUR LA MARCHE EN PARALLÈLE DES ALTERNATEURS (1)

A la suite du travail de E. Rosenberg « marche en parallèle des alternateurs, spécialement avec commande par moteurs à gaz », analysé dans cette revue (2), différents ingénieurs ont présenté de nombreuses observations, dont nous signalerons ici les plus intéressantes.

M. Benischke (3) fait observer que Rosenberg considère la réaction de l'alternateur ou réaction pendulaire comme synchrone à la force pendulaire initiale, ce que représente la figure 1 (4).

D'après lui, au contraire, l'alternateur doit être considéré comme étant susceptible de posséder une période d'oscillations propre définie par la formule

$$n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{D}{K}},$$

où n représente la fréquence de ces oscillations propres, D le couple synchronisant et K le moment d'inertie ; et par suite, la fréquence de la réaction pendulaire sera égale à cette dernière valeur, qui est en général différente de la fréquence de la force pendulaire initiale ou primaire.

En général, le diagramme de Rosenberg ne sera applicable qu'à la première oscillation : pour les oscillations suivantes, les forces pendulaire, primaire et de réaction ne seront

(1) D'après Rosenberg, Benischke, Goerges et Goldschmidt.

(2) Cf. *L'Éclairage Électrique*, t. XXXIII, p. 90, 18 octobre 1902, et *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 425, 15 mai 1902.

(3) *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 948, 23 octobre 1902.

(4) Cf. *L'Éclairage Électrique*, *loc. cit.*, figures 6 *a* et 6 *b*.

plus synchrones, mais représentées respectivement par l'une des figures 2 ou 3, suivant la grandeur relative de leur période. L'auteur compare ce phénomène au fonctionnement de l'échappement d'une horloge dans laquelle, bien que le mouvement du pendule soit entretenu par la pression périodique de l'échappement, la réaction du pendule sur ce dernier n'est pas synchrone de cette pression, car l'oscillation du pendule n'est pas réglée seulement par l'action de l'échappement, mais aussi par celle de son propre moment d'inertie.

Il peut arriver accidentellement, dans certains cas, que la période d'oscillation propre

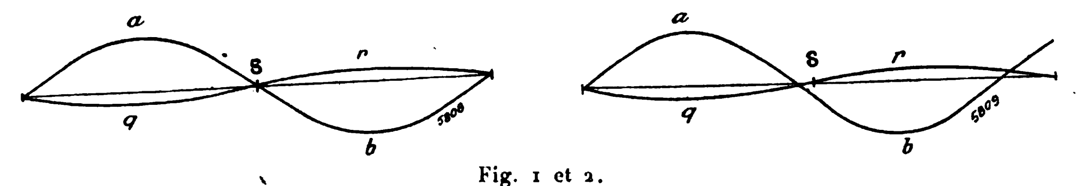


Fig. 1 et 2.

de la machine soit égale à celle de la force pendulaire primaire ; alors il y aura vraiment résonance et l'amplitude des oscillations ira rapidement en croissant, entraînant fatalement la désynchronisation de la machine. Mais dans la plupart des cas, les deux périodes sont différentes, et le phénomène ne peut être considéré comme une résonance, mais plutôt comme une interférence, surtout si les périodes d'oscillation sont voisines. Le vecteur OC de la force synchronisante n'est pas constamment dirigé suivant le vecteur AO de la pression tangentielle, mais il tourne constamment autour du point O, décrivant une révolution dans le temps qui s'écoule de 1 à 2, comme le montre la figure 4, qui représente d'ailleurs le phénomène ordinaire de l'interférence, ce qui explique les variations lentes de l'ampèremètre, souvent constatées dans la marche en parallèle des alternateurs.

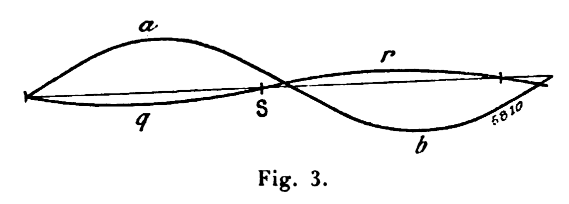


Fig. 3.

Donc, d'après Rosenberg, la désynchronisation ou *le décrochage* dépend du rapport des forces pendulaires, primaire et synchronisante ; d'après Benischke, des valeurs absolues des amplitudes des deux sortes d'oscillations, du rapport des deux fréquences, et aussi du rapport des deux forces, puisque la valeur de la seconde agit sur la fréquence des oscillations propres.

De la théorie de Rosenberg, on peut conclure qu'une augmentation de l'excitation, et par suite de la force synchronisante, doit pouvoir entraîner le décrochage ou tout au moins ne pas l'empêcher, ce qui se trouve en contradiction formelle avec le fait suivant constaté par l'auteur : un moteur synchrone, destiné à la production de courants déwattés, était alimenté par une génératrice triphasée, commandée par courroie par un moteur à courant continu branché sur une batterie d'accumulateurs. Quand le moteur synchrone était excité au-dessous d'une certaine valeur, il se décrochait au bout d'environ une demi-minute. On empêchait d'ailleurs facilement le décrochage, en renforçant l'excitation du moteur, ce qui modifiait la fréquence de ses oscillations propres : quant à la raison des oscillations communiquées au moteur, il faut la trouver dans la présence d'une attache métallique sur la courroie, qui occasionnait un à coup périodique sur l'alternateur.

M. Gœrges [1]. L'auteur signale d'abord ce qu'il appelle une faute de calcul dans l'expression de la puissance synchronisante, établie par M. Rosenberg, et qui tient simplement

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 1053, 4 décembre 1902.



à une interprétation différente des angles et du nombre des machines en présence. Puis passant au fonctionnement lui-même, il donne les explications suivantes : la condition d'une bonne marche est que l'avance angulaire de la machine reste inférieure à une valeur donnée; mais par avance angulaire, il faut entendre non pas l'avance initiale, telle qu'elle est déterminée par le diagramme des pressions tangentielles, mais l'avance angulaire résultante après considération de la réaction de la machine. D'autre part, c'est seulement aussi dans le cas où aucune autre oscillation ne peut se produire, que l'on peut appliquer le principe, énoncé autrefois par l'auteur, savoir que l'on peut admettre pour une machine un coefficient d'irrégularité d'autant plus grand, que le nombre d'impulsions ou de maxima et minima par tour est plus considérable, en d'autres termes, il est absolument d'accord sur ce point avec les conclusions de M. Rosenberg.

D'ailleurs, M. Rosenberg établit comme condition que le rapport de la force synchroni-

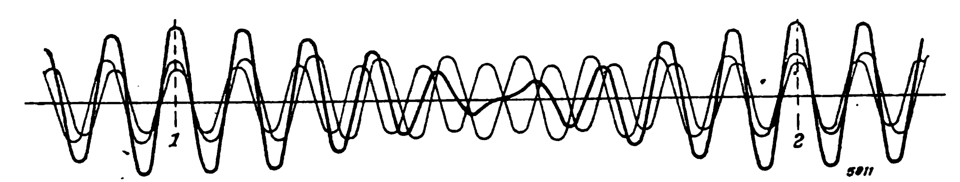


Fig. 4.

sante à la force pendulaire doit être petit. Or, tandis que la force pendulaire primaire est définie par le diagramme des pressions tangentielles, la force synchronisante est sensiblement proportionnelle à l'écart angulaire résultant et dépend par suite comme ce dernier de beaucoup de grandeurs, en particulier du moment d'inertie, et on peut toujours la diminuer en augmentant le moment d'inertie.

Le procédé graphique employé par M. Rosenberg est très élégant et présente l'avantage de rendre très nette la conception du phénomène, il conduit d'ailleurs aux mêmes résultats que les calculs de l'auteur, qui permettent cependant de pénétrer plus avant dans l'étude des oscillations, et en particulier d'établir la formule de la durée propre d'oscillation de la machine couplée, le facteur $\frac{1}{1-q}$ par lequel M. Rosenberg multiplie la valeur de l'écart pendulaire initial pour obtenir l'écart pendulaire résultant n'étant autre que le module de résonance

$$\frac{1}{1-\frac{T_a^2}{T_0^2}}$$

dans lequel T_0 et T_a désignent respectivement les périodes des oscillations propres et des impulsions de la machine à vapeur [1].

M. Gœrges ne partage pas les opinions de M. Benischke, savoir que l'amplitude des oscillations motrices n'est pas augmentée par la résonance [2], mais dépend seulement du diagramme des pressions tangentielles, et que le danger de décrochage provient seulement de l'interférence des oscillations motrices avec les oscillations propres, lorsque les périodes de ces deux sortes d'oscillations ont des valeurs très voisines.

Tout au contraire, il estime comme M. Rosenberg, qu'en principe les oscillations motrices jouent le rôle principal et sont renforcées par la force synchronisante, proportion-

(1) Cf. Boucherot. *Bulletin de la Société internationale des Electriciens*, novembre 1901.

(2) Voir plus haut, et aussi l'ouvrage de M. Benischke : *Sur la marche en parallèle des alternateurs.*



nellement au module de résonance, module qui présente déjà des valeurs très appréciables pour des périodes assez différentes : 2,78 pour un rapport 0,80, 2,29 pour un rapport 0,75 de ces périodes. Les rapports de ces périodes 2, 3, 4 ou 1/2, 1/3, 1/4, etc., ne présentent d'ailleurs aucun inconvénient particulier, sauf qu'il peut y avoir résonance entre les oscillations propres et les harmoniques supérieures des oscillations motrices, ce qu'on évitera d'ailleurs facilement en réalisant pour la fréquence des oscillations propres une valeur inférieure à la fréquence fondamentale des oscillations motrices.

En principe, les oscillations motrices existent seules, sauf dans des cas particuliers où des à-coups peuvent faire naître des oscillations propres (tels que variation brusque de la charge ou de l'excitation); ces oscillations peuvent alors résonner avec les oscillations motrices et acquérir une très grande amplitude (d'autant plus grande que l'amortissement est plus faible), si les périodes concordent; elles peuvent interférer si les périodes sont voisines, mais rien ne les entretenant, elles disparaissent rapidement [1].

Il peut se produire évidemment d'autres oscillations telles que les oscillations beaucoup plus lentes, dues au mauvais fonctionnement d'un régulateur insuffisamment amorti ; mais on peut y remédier facilement en augmentant l'amortissement du régulateur au moyen d'un frein ou d'une cataracte.

Contrairement à l'opinion de M. Benischke, M. Gœrges maintient qu'on peut assez facilement prévoir si le fonctionnement d'un groupe électrique, en parallèle avec d'autres, sera satisfaisant, puisqu'il suffit de connaître le diagramme des pressions tangentielles, le moment d'inertie et les propriétés électriques de l'alternateur. Le moment d'inertie du groupe dépend, il est vrai, de la masse des pièces en mouvement alternatif, et est par suite variable dans le tour, mais cette variation est faible, en général, et l'erreur qui en résulte encore plus faible, puisque pour le calcul de la période le moment d'inertie entre sous un radical.

D'ailleurs, il suffit que la période propre T_o soit nettement supérieure à la période T_a des impulsions motrices, ce qu'il est facile de vérifier par le calcul, qui permettra d'ailleurs, étant ainsi déterminé le module de résonance, de trouver l'écart angulaire résultant.

L'amortisseur de M. Leblanc est un procédé excellent pour diminuer l'amplitude des oscillations propres et motrices ; il peut même rendre le fonctionnement en parallèle possible, dans le cas de résonance parfaite entre les périodes de ces oscillations, où l'amplitude deviendrait infinie, si l'amortissement n'existait pas : mais il est impuissant à empêcher les déplacements lents de la charge entre les alternateurs.

M. Goldschmidt [2] revient sur la question de la réaction d'induit des alternateurs pour donner des formules plus exactes relativement au calcul du courant synchronisant.

En passant, il fait une remarque intéressante, applicable à la mise en route des moteurs synchrones ou des commutatrices. Si l'on considère un moteur synchrone ou un alternateur triphasé, à induit fixe et à inducteur mobile à pôles séparés, et que l'on envoie du courant continu dans l'induit, l'inducteur se place de façon que le flux y soit maximum, c'est-à-dire

---

(1) Cf. Mémoire de la synchronisation électromagnétique de M. Cornu (Société internationale des Electriciens, *Bulletin* d'avril 1894) :

Dans un circuit contenant une self-induction et une capacité, ajusté pour une fréquence a, tant que l'amortissement n'est pas nul, une force électromotrice de fréquence b finira par produire exclusivement un courant de fréquence b et non de fréquence a, sauf si $b = a$, cas de la résonance ; il en est de même d'ailleurs du cas des alternateurs en parallèle, absolument analogue au premier, ce qui renverse les théories de M. Benischke.

(2) *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 980, 6 novembre 1902.



que l'axe du pôle coïncide avec l'axe de la bobine parcourue par le courant continu (figure 5). Si l'on substitue au courant continu des courants triphasés à très faible fréquence, l'inducteur tend à conserver cette position de flux maximum, et se met à tourner *synchroniquement* avec le champ de l'induit, formant ce que Steinmetz a appelé une machine de réaction, un moteur synchrone sans champ inducteur. Au contraire, dans le cas d'un moteur à rotor cylindrique, sans pôles séparés, la marche serait asynchrone, puisqu'il n'y aurait aucune position de flux maximum (1).

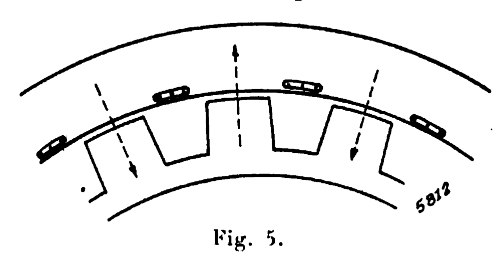


Fig. 5.

Dans la marche en machine de réaction, il existe un *couple de réaction* qui maintient le synchronisme malgré les frottements et éventuellement une légère charge : ce couple de réaction est d'autant plus grand que les pôles sont plus étroits.

Ce couple existe évidemment aussi dans la marche en générateur quand l'inducteur est excité et que l'induit débite du courant.

Supposons que le courant soit sinusoïdal dans le temps et que l'enroulement soit tel que dans le cas d'un inducteur cylindrique où la réluctance est la même en tous les points, le champ engendré par l'induit soit sinusoïdal (courbe B de la figure 6_a).

Si on passe au cas des pôles séparés, on voit que le champ induit sera différent suivant la position des pôles au moment du maximum du courant; en supposant la réluctance infinie en dehors des pôles on obtient les figures 6_b dans le cas d'un courant décalé de $\frac{\pi}{2}$ sur la force électro-

Fig. 6_a.

Fig. 6_b.

Fig. 6_c.

(1) On peut faire à ce sujet l'expérience suivante, très intéressante, avec un petit moteur synchrone auto-excitateur ou une petite commutatrice, à pôles séparés : On met en route le moteur en asynchrone, et on l'accroche en fermant l'excitation, puis on rompt l'excitation, le moteur étant à vide ; si on rétablit alors l'accrochage en fermant l'interrupteur d'excitation, on constate que l'excitation s'établit toujours dans le même sens, même pendant dix manœuvres successives, bien que l'on sache qu'en général elle prend naissance dans un sens ou dans l'autre suivant le moment où l'on provoque la fermeture du circuit d'excitation.

Cela tient à ce fait que, après rupture de l'excitation, le moteur tourne en machine de réaction, c'est-à-dire synchroniquement avec le champ et par suite conserve une polarité bien définie, qui détermine à la fermeture nouvelle de l'excitation, un courant inducteur toujours de même sens : pendant la marche sans excitation on peut d'ailleurs constater, avec un voltmètre pour courant continu à un seul sens de déviation, qu'il n'est induit aucune force électromotrice dans l'enroulement inducteur, ce qui prouve que la marche est synchrone.

Mais cette machine de réaction ne peut développer qu'un couple très faible, et si au moyen d'une courroie ou même de la main on freine sur la poulie, ou provoque rapidement la désynchronisation du moteur, qui continue à tourner en asynchrone, même après que l'on a cessé de freiner sur la poulie, ce que l'on constate au changement de bruit et à la force électromotrice alternative induite dans l'inducteur. Si alors on provoque de nouveau la synchronisation en fermant l'interrupteur d'excitation, on peut obtenir un courant inducteur dans un sens ou dans l'autre, suivant le signe de cette force électromotrice alternative au moment de la fermeture. A. M.

motrice, et 6_c dans le cas d'un courant en phase avec la force électromotrice induite par le flux inducteur résultant. On peut donner au champ de l'induit, dans ces deux cas, les noms respectifs de réaction directe et réaction transversale [1].

En conservant cette hypothèse d'une réluctance infinie en dehors du pôle, l'auteur calcule l'action de ces deux champs, en déterminant les forces électromotrices d'induction E_r et E_t, correspondant respectivement aux deux réactions directe et transversale, dans le cas d'un enroulement théorique réparti sinusoïdalement.

Soit b la largeur d'un pôle, et $2\,l$ la distance périphérique des axes de deux pôles consécutifs de même nom (correspondant à un champ double), on a

$$E_r = C\left(\frac{b}{l} + \frac{1}{\pi}\sin\frac{b\pi}{l}\right)$$

$$E_t = C\left(\frac{b}{l} - \frac{1}{\pi}\sin\frac{b\pi}{l}\right),$$

C étant une constante, d'où le rapport

$$\gamma = \frac{E_t}{E_r} = \frac{\dfrac{b}{l} - \dfrac{1}{\pi}\sin\dfrac{b\pi}{l}}{\dfrac{b}{l} + \dfrac{1}{\pi}\sin\dfrac{b\pi}{l}}.$$

Les valeurs de γ en fonction du rapport $\frac{b}{l}$ de la largeur du pôle à l'espace compris entre les axes de deux pôles consécutifs sont données dans la courbe de la figure 7.

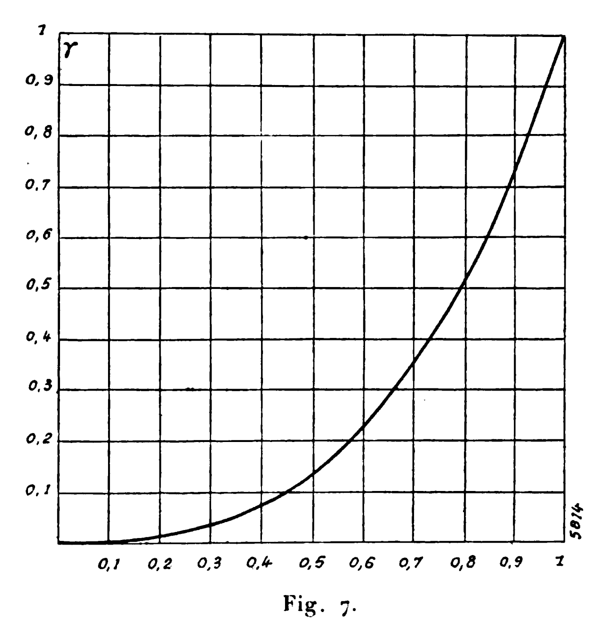


Fig. 7.

Pour avoir les valeurs de E intermédiaires entre le décalage 0 et le décalage $\pi/2$ du courant sur la force électromotrice, on décompose le courant en deux composantes suivant les directions de la force électromotrice et de la perpendiculaire à cette force électromotrice, ce qui conduit à un diagramme analogue à celui de Blondel, (théorie des deux réactions) [1].

Ce facteur γ trouve un emploi très intéressant dans le calcul du courant synchronisant, dans le cas de la marche en parallèle de deux ou plusieurs alternateurs.

Lorsque deux alternateurs semblables, par exemple, marchent en parallèle, si l'un vient à avancer sur l'autre d'un angle α, la différence géométrique des forces électromotrices égales E_1 et E_2 des deux alternateurs engendre un courant de circulation entre les deux machines ; la force électromotrice résultante ε qui produit ce courant est sensiblement perpendiculaire à E_1 et E_2 (fig. 8), et le courant de circulation qui doit compenser cette force électromotrice ε, est sensiblement dirigé suivant les forces électromotrices E_1 et E_2 ; c'est un courant watté, qui engendre dans les induits des réactions transversales. Par suite, c'est le coefficient

[1] Cf. Blondel. Etude empirique de la réaction d'induit des alternateurs, l'*Industrie électrique*, 10 novembre, 25 novembre et 25 décembre 1900.



d'induction ou la force électromotrice de self-induction correspondant à la réaction transversale qu'il faut faire entrer dans le calcul du courant synchronisant, et non le coefficient d'induction de réaction directe : ceci montre de plus, que toutes choses égales d'ailleurs, le courant synchronisant sera d'autant plus élevé que les pôles seront plus étroits et par suite le facteur γ plus petit.

Dans les formules ordinaires du courant synchronisant ou de circulation, on fait entrer généralement le courant de court-circuit, ce qui correspond à l'emploi du coefficient de réaction directe ; il faut pour avoir la vraie valeur de ce courant synchronisant multiplier l'expression trouvée par le facteur $\frac{1}{\gamma}$.

Pour de petits angles α d'écart électrique entre les deux alternateurs, on peut admettre que ε est égal à αE ; si le courant normal est I, et le courant de court-circuit sous l'excitation normale kI, la valeur du courant synchronisant I_s est

$$I_s = \frac{\alpha}{2} . k . \frac{1}{\gamma} . I.$$

Fig. 8.

Par exemple, pour un écart électrique de 3°, un courant de court-circuit égal à 3 fois le courant normal, et un rapport $\frac{b}{l} = 0{,}8$, le courant de circulation est

$$I_s = \frac{3 . 2\pi}{360} . 3 . \frac{1}{0{,}512} I = 0{,}13 I.$$

Pour une largeur de pièce polaire égale seulement au vide entre deux pôles $\left(\frac{b}{l} = 0{,}5,\right)$ γ devient égal à 0,136, et l'on a

$$I_s = 0{,}55 I,$$

c'est-à-dire théoriquement un courant de circulation quadruple de celui qui existe dans le premier cas [1].

La durée d'oscillation propre du groupe se trouve multipliée par $\sqrt{\gamma}$, et est donc d'autant plus petite que les pôles sont plus étroits.

Finalement le module de résonance, c'est-à-dire le facteur par lequel il faut multiplier l'écart angulaire initial pour obtenir l'écart angulaire résultant en tenant compte de la réaction de l'alternateur, est d'autant plus grand que les pôles sont plus étroits.

A. Mauduit.

---

(1) Dans la pratique, le rapport n'est pas aussi grand pour la raison suivante :

Dans le calcul de γ, on a négligé la dispersion sur les bords des pièces polaires et, entre la culasse de l'inducteur et l'induit, ce qui fait qu'en réalité γ est beaucoup plus grand que la valeur calculée par l'auteur, surtout pour le cas des pièces polaires étroites, où l'erreur est considérable.

Une autre erreur dans le calcul de I_s provient du rôle complexe de la dispersion propre de l'induit; elle est d'ailleurs en sens contraire de la précédente.

A. M.

LE FROTTEMENT DES COUSSINETS A GRANDE VITESSE

Lors de la construction de la voiture d'expérience destinée aux essais de traction à grande vitesse entre Berlin et Zossen [1], l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft a été conduite à adopter pour les moteurs des coussinets de très grand diamètre (l'essieu traversant l'arbre tubulaire du moteur), et, pour l'établissement de ces coussinets, a procédé à une étude expérimentale du frottement dans ces conditions spéciales : les précédents expérimentateurs (Thurston (1873), Woodbury (1884), Tower (1883) n'avaient pas, en effet, dépassé la vitesse linéaire de 6 mètres par seconde.

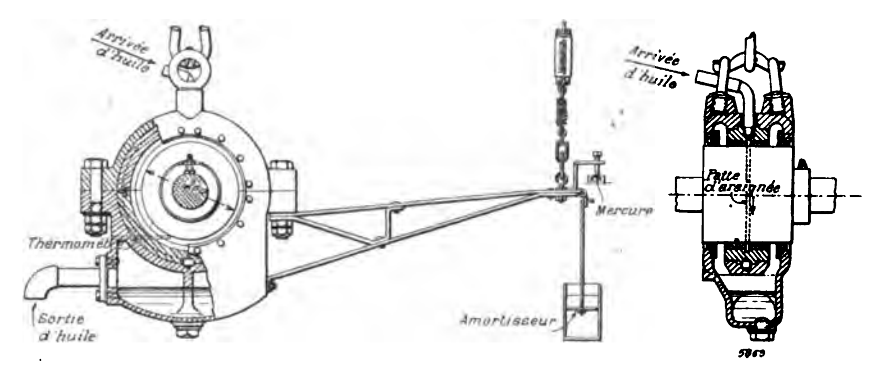


Fig. 1. — Dispositif de l'A. E. G. pour la mesure directe de l'effort de frottement par un dynamomètre.

Ces expériences ont été étendues et complétées, principalement en vue d'applications aux turbo-dynamos et viennent de faire l'objet d'un important mémoire de M. Lasche [2] que nous allons résumer ci-après. Les coefficients de frottement ont été mesurés en fonction des pressions unitaires, des vitesses linéaires et des températures, jusqu'à 15 kg par centimètre carré pour la pression, 25 mètres par seconde pour les vitesses, 100° C pour les températures.

Les mesures ont eu lieu par plusieurs méthodes différentes : 1° mesure directe de l'effort de frottement par un dynamomètre ; 2° mesure du travail dépensé par le coussinet à l'aide d'un moteur électrique préalablement étalonné ; 3° étude du couple retardateur d'un volant.

Le dispositif adopté pour la mesure directe se trouve représenté figure 1. Un arbre de 7 centimètres de diamètre porte une bague de 26 centimètres de diamètre et 11 centimètres de long, sur laquelle s'effectue le frottement. Le coussinet, en deux moitiés réunies ensemble par des boulons, est suspendu à un câble qui, passant sur des poulies, porte à son autre extrémité un bloc de fonte, de façon à presser le coussinet, de bas en haut, sur l'arbre. (Dans d'autres expériences, le bloc de fonte a été remplacé par un dynamomètre de 4 tonnes, suspendu au crochet d'une grue). Le palier était graissé par une circulation d'huile arrivant par le coussinet supérieur. Les deux paliers supportant l'arbre, de chaque

[1] Pour la description des voitures et des installations, voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXIX, p. 133, 26 octobre 1901 ; t. XXX, p. 89, 18 janvier 1902 ; t. XXVI, p. 7, 93 et 133, 5, 19 et 26 avril 1902 ; t. XXXIV, p. 95, 17 janvier 1903. — Dans l'article du 18 janvier se trouvent indiquées, pages 94 et 95, les résultats des premiers essais sur le frottement des paliers.

[2] *Traction and Transmission*, t. VI, p. 33-64, janvier 1903.



côté du palier d'expérience, étaient montés avec roulements à billes qui avaient l'avantage de ne pas s'échauffer, et par suite de ne pas fausser les mesures de température. (Sous d'autres rapports, ces roulements à billes ont été trouvés inférieurs aux paliers lisses).

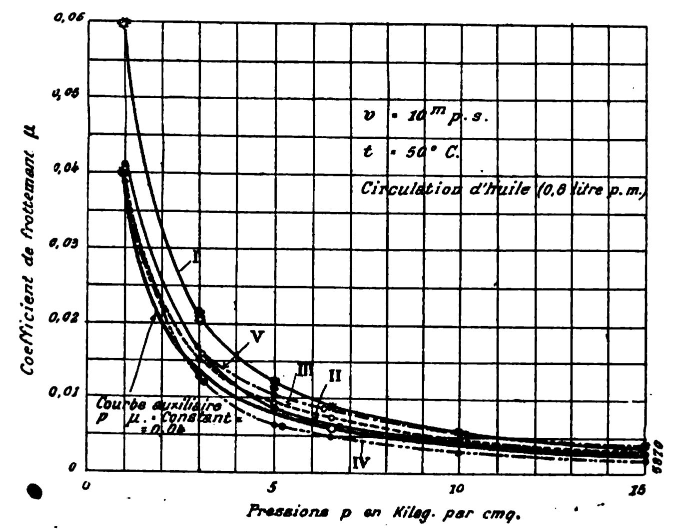


Fig. 2. — Courbes de variation du coefficient de frottement en fonction de la pression.

L'effort tangentiel était mesuré à l'aide d'un levier horizontal pourvu, à son extrémité, d'une pointe en regard d'un godet de mercure. Cette extrémité est suspendue à un ressort. On fait d'abord tourner l'arbre dans un sens et on tend le ressort de façon à amener la pointe à la surface du mercure. On fait ensuite tourner l'arbre en sens inverse, et on charge de poids l'extrémité du levier jusqu'à ramener encore la pointe à la surface du mercure. La moyenne arithmétique des deux efforts, réduite dans le rapport du rayon du coussinet à la longueur du levier, donne le frottement total. Dans d'autres expériences, la mesure a été faite directement par un dynamomètre à ressort et à vernier, le zéro étant déterminé par un appareil à réflexion. Un deuxième appareil était pourvu d'un coussinet de 11 cm d'alésage et 24 cm de longeur.

La figure 2 montre l'influence de la pression p (kg par cm² de la projection) sur le coefficient de frottement, pour une vitesse de 10 m par seconde et une température de 50° C. Dans ce diagramme, comme dans ceux qui suivent, les diverses courbes se rapportent aux conditions suivantes :

NUMÉRO de la courbe.	DIMENSIONS DU COUSSINET	MÉTAL DE L'ARBRE	MÉTAL DU COUSSINET
I	D = 11 cm, L = 24 cm	Acier.	Métal antifriction.
II	D = 26 cm, L = 11 cm	Acier au nickel.	—
III	— —	— —	Amalgame de mercure.
IV	— —	— —	Bronze.
V	— —	Acier doux.	Métal antifriction.

Comme on le voit, le coefficient de frottement décroît, d'abord rapidement puis plus lentement, avec la charge, le résultat général pouvant être exprimé, à 50° C et 10 m par seconde, par :

$$p\,\mu = \text{constante} = 0{,}04$$

(courbe auxiliaire en gros traits mixtes).

La figure 3 montre l'influence de la vitesse, pour une pression de 6,5 kg par cm², et une température de 50° C. On voit que, au-dessus de 10 mètres par seconde, le coefficient de frottement est à peu près indépendant de la vitesse.

La figure 4 montre enfin l'influence de la température pour une pression de 6,5 kg par



cm², et une vitesse de 10 m par seconde. Entre 40 et 100° C, le coefficient de frottement peut être considéré comme inversement proportionnel à la température ;

$$\mu\, t = \text{constante} = 0{,}3$$

résultat représenté, comme précédemment, par une courbe auxiliaire.

L'ensemble des résultats peut se représenter par la formule générale, indépendante de la vitesse,

$$p\, \mu\, t = \text{constante} = 2$$

applicable jusqu'à $p = 15$ kg : cm², $t = 100°$ C et $v = 20$ m : sec.

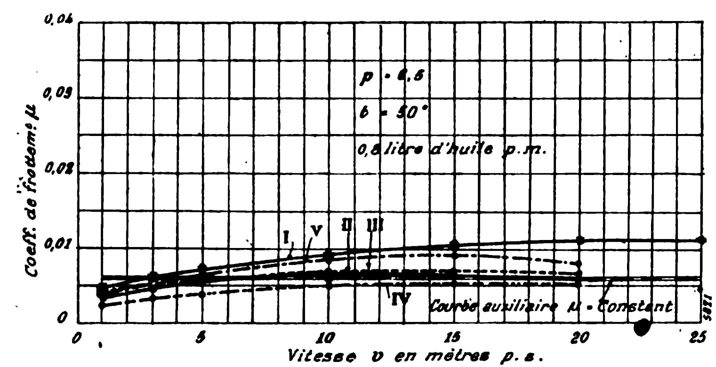


Fig. 3. — Courbes de variation du coefficient de frottement en fonction de la vitesse.

L'influence du métal qui forme l'arbre n'est pas très marquée, et l'examen microscopique ne décèle aucune différence dans le poli de la surface ; toutefois, après un service prolongé, l'acier au nickel a montré des pores plus grands que l'acier doux.

La nature du métal qui forme le coussinet n'a pas non plus grande influence au point de vue du coefficient de frottement ; toutefois le bronze est généralement un peu plus avantageux ; le choix du métal a presque toujours pour base des considérations autres que le coefficient de frottement (le métal antifriction a, par exemple, l'avantage de ne pas endommager l'arbre en cas d'échauffement.)

Les expériences faites avec trois sortes d'huile ont montré que la nature de l'huile employée ne joue qu'un rôle secondaire, et qu'il importe également peu qu'elle soit amenée sous pression ou qu'elle s'écoule simplement d'un réservoir. La circulation d'huile a une importance dans le cas de fortes pressions et de grandes vitesses, parce qu'elle limite la température du coussinet. Il est difficile d'indiquer la pression unitaire à partir de laquelle le graissage forcé est nécessaire, mais il est presque indispensable pour les coussinets fortement chargés dans lesquels la pression est toujours dans le même sens.

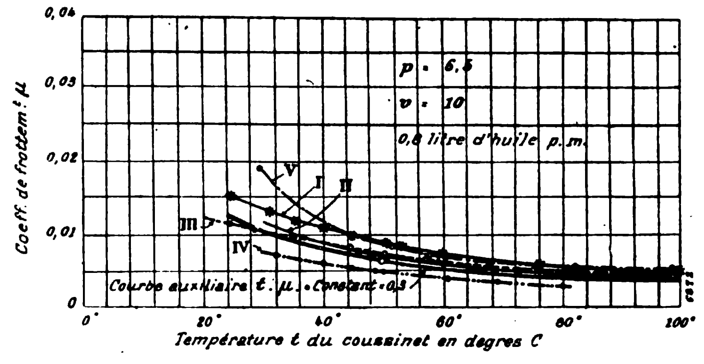


Fig. 4. — Courbes de variation du coefficient de frottement en fonction de la température du coussinet.

M. Lasche a étudié le graissage par bague, sur un arbre de 9 cm de diamètre, et trouvé que la quantité d'huile élevée augmente jusqu'à une vitesse de 2 000 à 3 000 tours : minutes où elle atteint 0,11 litre à 0,18 litre par minute ; le sens de la rotation, la nature du coussinet, exercent sur le débit une influence mal définie.

Le jeu entre l'arbre et le coussinet joue un rôle important. Dans un coussinet dont le jeu est faible, il y a frottement même lorsque la charge est nulle, de sorte qu'on peut trouver un coefficient de frottement infini : la résistance au passage de l'huile constitue une

sorte de freinage, qui disparaît dès que l'huile n'est plus sous pression dans la partie non chargée du coussinet. En étudiant ainsi l'influence du jeu dans un coussinet de 25 cm de diamètre et 11 cm de long, on a reconnu que pour $p = 1$ kg:cm², le frottement décroît rapidement lorsque le jeu augmente, pour devenir pratiquement constant pour un jeu de 1,5 mm. Avec des pressions plus fortes (10 à 15 kg par cm²), l'influence du jeu est beaucoup moindre.

Les coefficients de frottement obtenus par l'Allegemeine Elektricitäts Gesellschaft sont notablement plus faibles que ceux des précédents expérimentateurs, ce que M. Lasche attribue au meilleur fini des surfaces frottantes et à leur vérification rigoureuse.

L'étude du couple retardateur d'un volant ou d'un induit de dynamo lancé à une certaine vitesse fournit un moyen de déterminer le frottement total ; mais comme le chiffre trouvé comprend aussi la résistance de l'air, M. Lasche considère plutôt cette méthode comme propre à fournir la résistance de l'air pour une machine dont les conditions de frottement sont connues.

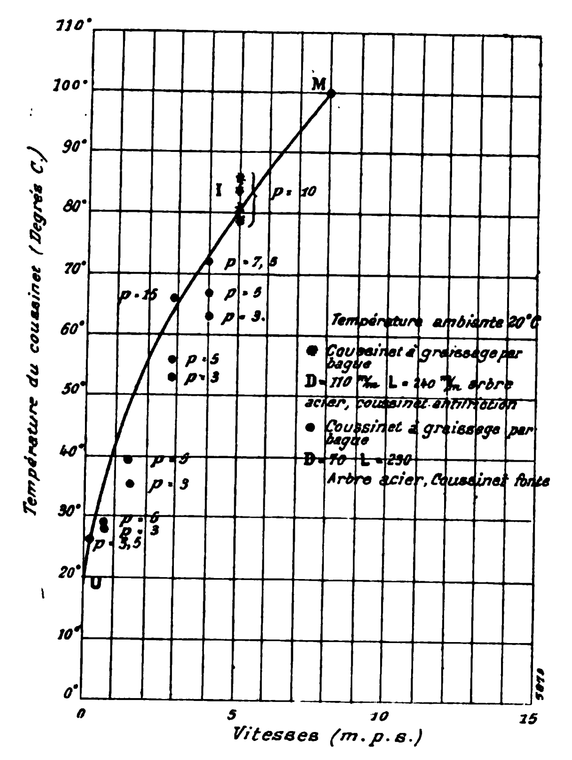


Fig. 5. — Courbe de variation de la température avec la vitesse de l'arbre.

La mesure du travail de frottement à l'aide d'un moteur électrique a donné des résultats qui concordent assez bien avec la mesure directe ; mais cette méthode a été trouvée d'une application plus difficile, en raison de la difficulté d'éviter les vibrations, et de déterminer le travail absorbé dans les paliers à billes.

Nous avons vu qu'entre certaines limites le produit $p\mu$ reste pratiquement constant, et que par suite, pour un coussinet donné, la quantité d'énergie dissipée par le frottement est directement proportionnelle à v. Si on se donne une température limite du coussinet (70 degrés, par exemple), il faudra donc choisir v, de telle sorte que toute la chaleur puisse se dissiper à cette température, à moins d'enlever l'excédent par un courant d'huile, ou une réfrigération artificielle quelconque. L'étude du refroidissement des coussinets présente donc un grand intérêt, et permet de déterminer cette limite à laquelle il faut recourir à des moyens artificiels.

Le mémoire que nous avons cité contient de nombreuses expériences à ce sujet, dans lesquelles la chaleur a été fournie au coussinet soit par une hélice en fil métallique chauffée par un courant électrique, soit par un serpentin traversé par de l'huile chaude, soit enfin par le frottement direct. Les résultats moyens ont été traduits par deux courbes donnant, l'une l'élévation de température en fonction de la puissance dépensée par unité de surface, l'autre la relation entre la température et la vitesse, avec le refroidissement naturel. Nous reproduisons cette dernière courbe (figure 5) avec, en regard, divers points obtenus dans des cas particuliers, et qui donnent une idée de la façon dont les résultats concordent avec l'observation directe sur des machines en marche prolongée.

Quelques expériences accessoires ont été faites également, d'une part sur l'efficacité de la circulation d'huile, d'autre part sur la répartition des températures aux divers points des coussinets.

F. Drouin.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

Sur la réaction d'induit des alternateurs, par **C.-F. Guilbert** (¹). *Electrical World and Engineer* des 25 octobre, 8, 22, 29 novembre, 6, 13, 20 et 27 décembre 1902.

Il a été écrit beaucoup depuis quelques années sur la question de la réaction d'induit des appareils à courants alternatifs : dynamos, moteurs et transformateurs

La plupart des auteurs qui se sont occupés du phénomène de la réaction d'induit ont donné une représentation graphique de leur étude. Les nombreux diagrammes ainsi publiés ne conduisent malheureusement pas toujours à des résultats identiques et surtout à des résultats comparables à ceux obtenus par les essais directs.

L'accord n'a lieu, en effet, que pour des inductions admises assez faibles, c'est-à-dire tant qu'on peut regarder les flux magnétiques comme proportionnels aux forces magnétomotrices qui les produisent.

Cet accord exige, du reste, que les diagrammes employés tiennent compte de l'augmentation de la dispersion de l'inducteur due à la présence des courants dans l'induit.

Quelques diagrammes ont toutefois été établis en vue de s'appliquer dans le cas de saturations assez élevées, mais pourvu néanmoins que les circuits magnétiques induits soient assez éloignés de la saturation et par suite que les circuits magnétiques inducteurs soient seuls saturés. La plupart de ces diagrammes reposent sur une ou mieux sur deux hypothèses relatives à ce que M. Blondel a appelé la réaction transversale ou réaction due au courant en coïncidence avec la direction vectorielle de la force électromotrice à vide.

Cette hypothèse, acceptée par les uns, est réfutée par les autres et n'est en réalité admissible que dans certains cas particuliers qui sont actuellement de plus en plus éloignés de la pratique. Nous avons pensé qu'il ne serait pas inutile, non de discuter tous les diagrammes donnés, ce qui nous entraînerait beaucoup trop loin, mais de les classer en un petit nombre de groupes jouissant sensiblement des mêmes propriétés ou des mêmes défauts et de les étudier sous cette forme en insistant plus particulièrement sur ceux qui approchent le plus de l'exactitude.

Auparavant, nous établirons d'une façon absolument rigoureuse quelques formules importantes dont la plupart sont inédites.

I. — Forces magnétomotrices moyennes directe et transversale de l'induit

Dans un alternateur quelconque à courants alternatifs simples ou polyphasés, la force magnétomotrice en un point de l'induit est une fonction périodique du temps.

Cette fonction en elle-même ne joue qu'un rôle secondaire dans l'étude des alternateurs. Ce qu'il importe en réalité de connaître ce n'est pas seulement la répartition de la force magnétomotrice le long de l'entrefer et sa variation en fonction du temps, mais surtout sa répartition, le long des épanouissements polaires, pour un observateur entraîné avec ceux-ci, et principalement la valeur moyenne de cette répartition pour une demi-période.

C'est cette valeur moyenne qui définit, à un coefficient près, le nombre des ampèretours supplémentaires qu'il faut ajouter sur l'inducteur pour compenser ceux de l'induit, ou qui permet de déterminer la diminution du flux induit, entre la marche à vide et la marche avec un certain débit, soit pour un même flux dans l'inducteur, soit pour une excitation constante.

La connaissance de cette force magnétomotrice moyenne ou équivalente n'est pas encore suffisante. Comme l'a en effet montré le premier M. Blondel, l'action des ampèretours induits donne lieu, non seulement à une réaction directe, mais aussi à une réaction transversale dont l'effet est de retarder le moment du maximum du flux, sans le modifier en grandeur, du moins si les dents de l'induit sont peu saturées.

La première réaction, dite réaction directe, est produite uniquement par la composante de la force magnétomotrice induite en quadrature avec la direction du vecteur représentant la



tension à vide, et la seconde, ou réaction transversale, est due à la composante en coïncidence de phase avec le vecteur de la tension à vide. Nous nous occuperons successivement de ces deux réactions en commençant par la réaction directe.

FORCE MAGNÉTOMOTRICE ÉQUIVALENTE AUX AMPÈRETOURS DU COURANT QUADRATIQUE. — L'évaluation des ampèretours moyens, ou suivant l'expression de M. Blondel, des ampèretours *équivalents* aux ampèretours du courant déwatté a déjà été faite par de nombreux auteurs.

L'ancienne formule, encore employée de nos jours par quelques ingénieurs, est :

$$\mathcal{F}_i = \frac{q}{2} \mathrm{NI}\sqrt{2} \qquad (1)$$

q étant le nombre de phases de l'induit, N le nombre de spires par pôle et par phase, I le courant de débit, supposé complètement déwatté, et $\mathcal{F}_i$ la force magnétomotrice équivalente par pôle, évaluée en ampèretours.

Cette formule (1) est établie en supposant que, pour chaque phase, l'induit se comporte comme s'il y avait le long de la périphérie une force magnétomotrice constante égale à la moitié des ampèretours maxima de l'induit $\mathrm{NI}\sqrt{2}$.

Cette hypothèse revient à l'application du théorème de M. Leblanc sur la décomposition d'une force magnétomotrice alternative de direction fixe en deux forces magnétomotrices constantes tournant l'une dans le même sens que l'inducteur et l'autre en sens contraire et qui serait détruite plus ou moins par l'effet amortissant des masses pleines des inducteurs.

Elle n'est donc rigoureuse que dans les conditions où le théorème de Leblanc est applicable, c'est-à-dire pour les alternateurs à enroulements induits sinusoïdaux et à amortisseurs pratiquement parfaits, tels que les amortisseurs Leblanc. Pour les autres, il y a lieu de tenir compte de l'effet de la force magnétomotrice tournant en sens contraire.

On a donné des formules un peu plus rigoureuses. Telles sont celles de Kapp, d'Arnold et surtout les tableaux de M. Blondel.

La formule de Kapp, que son auteur a donnée sans démonstration, et celle d'Arnold, sont les mêmes à un facteur près.

Désignons par :

a, le pas polaire ou la distance périphérique comprise entre les axes de 2 pôles consécutifs ;

b, la largeur d'un épanouissement polaire.

La formule d'Arnold est, dans le cas où les courbes de la tension et du courant sont sinusoïdales,

$$\mathcal{F}_i = q \frac{\sqrt{2}}{\pi} k \frac{\sin \frac{b}{a} \frac{\pi}{2}}{\frac{b}{a} \frac{\pi}{2}} \qquad (2)$$

Si le courant est déphasé par rapport à la tension à vide d'une différence de phase ψ, il faut naturellement multiplier la valeur de $\mathcal{F}_i$ de la formule (2) par $\sin \psi$.

Le professeur Kapp suppose le facteur k égal à l'unité. Ce facteur tient compte de la largeur des bobines induites et n'est autre que le facteur de réduction de la force électromotrice résultant de ce que les conducteurs d'une même spire sont le siège de tensions déphasées d'une quantité différente d'une demi-période.

Sa valeur dans la formule d'Arnold est, pour le cas d'une seule bobine enroulée dans deux encoches,

$$k = \sin \frac{b'}{a} \frac{\pi}{2}, \qquad (3)$$

b' étant la distance des axes des deux trous ou encoches de la bobine.

La formule d'Arnold, quoique exacte mathématiquement, n'est pas absolument rigoureuse car, à notre avis, ce n'est pas la largeur réelle de l'inducteur qui doit intervenir dans l'expression des ampèretours équivalents de l'induit, mais la largeur, à son entrée dans l'induit, du flux épanoui sortant d'un épanouissement polaire, largeur qui dépend de l'entrefer et de la forme des pièces polaires et qui est toujours voisine du pas polaire, sauf pour les pôles dont la largeur est assez petite (inférieure à 0,6 environ) ou par les inducteurs sans épanouissements et à bobines inductrices très voisines de l'entrefer.

Cette largeur se déduit immédiatement du tracé des lignes de force sur le dessin de la machine.

Nous allons donner une démonstration purement mathématique de cette formule.

La formule que nous allons établir permettra de calculer la force magnétomotrice équivalente de l'induit dans tous les cas.

Nous commencerons toutefois par considérer le cas d'un alternateur à courants alternatifs simples, le cas d'un alternateur à courants polyphasés s'en déduisant immédiatement.

Cas d'un alternateur à courants alternatifs simples. — Pour simplifier l'exposé du calcul, nous supposerons que le courant est complètement déwatté, c'est-à-dire en quadrature avec la tension à vide.

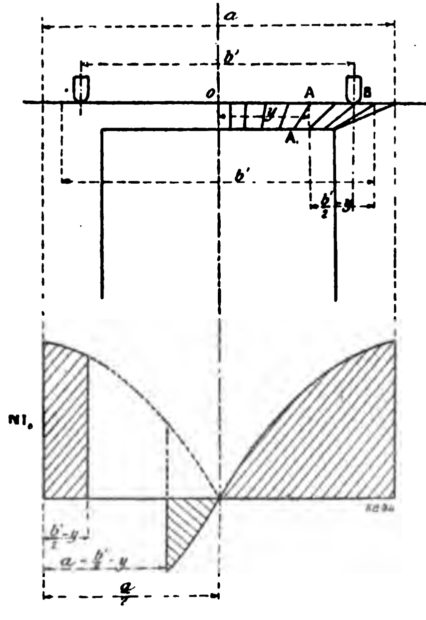


Fig. 1.

Le courant complètement watté, c'est-à-dire en coïncidence de phase avec la tension qui existerait à vide ne donnerait lieu à aucune force magnétomotrice moyenne directe.

On peut, en effet, admettre, comme l'a proposé M. Blondel, qu'on peut décomposer le courant total en ses deux composantes I sin ψ et I cos ψ. ψ étant le décalage du courant avec la tension à vide.

Nous conserverons les mêmes notations que plus haut et rappelées sur la figure 1.

La largeur b que nous prendrons pour l'épanouissement polaire n'est pas la largeur de celui-ci, mais la largeur du flux sortant de l'épanouissement et pénétrant dans l'induit comme nous l'avons dit plus haut.

Pour avoir la force magnétomotrice moyenne pendant une demi-période, nous allons calculer la force magnétomotrice de l'induit en un point quelconque de l'inducteur pour toutes les positions relatives pendant une demi-période, puis la valeur moyenne de cette force magnétomotrice en un point et ensuite la force magnétomotrice moyenne pour tous les points de la largeur b' du flux entrant dans l'induit [1].

Soit :

$$i = I_0 \cos \frac{\pi x}{a} \qquad \left(x = \frac{2at}{T}\right)$$

l'expression du courant déwatté, x désignant le décalage de l'axe d'un pôle inducteur par rapport à l'axe correspondant d'un pôle induit. Considérons un point A_1 de l'inducteur à une distance telle de l'axe du pôle que la ligne de force correspondante aboutisse en A à une distance y de l'axe du pôle induit et étudions la variation de la force magnétomotrice en ce point pendant une demi-période.

Tant que le déplacement est inférieur à $\frac{b'}{2} - y$, le point considéré reste sous la bobine induite et la force magnétomotrice diminue simplement comme $\cos \frac{\pi x}{a}$.

Pour $x = \frac{b'}{2} - y$, la ligne de force du point considéré ne traverse plus la bobine, la force magnétomotrice tombe à zéro et conserve cette valeur jusqu'à ce que le déplacement devienne supérieur à :

$$OB + BC = \frac{b'}{2} - y + a - b' = a - y - \frac{b'}{2}$$

A partir de ce moment, la force magnétomotrice est changée de signe puisqu'on se trouve sous la bobine suivante ; elle diminue en valeur absolue jusqu'à zéro pour un déplacement égal à $\frac{a}{2}$, puis croît à nouveau, après avoir changé de signe avec le courant, jusqu'à la fin de la demi-période. Nous aurons la valeur moyenne de la force magnétomotrice au point considéré en faisant la surface hachurée et en tenant compte de la partie négative.

On voit facilement que la surface a pour

[1] La démonstration que nous donnons ici diffère de celle publiée dans l'*Electrical World and Engineer*. Elle est peut-être un peu moins rigoureuse, mais beaucoup plus simple. M. C.-F. Guilbert qui a établi cette nouvelle démonstration pour les élèves de l'Ecole pratique d'Electricité Industrielle (cours de 2e année) a bien voulu nous autoriser à la reproduire ici.

expression

$$2\int_0^{a-y-\frac{b'}{2}} NI_0 \cos\frac{\pi x}{a}\,dx - \int_{\frac{b'}{2}-y}^{a-\frac{b'}{2}-y} NI_0 \cos\frac{\pi x}{a}\,dx$$

Posons $\frac{\pi x}{a} = z$, on a pour l'expression de la force magnétomotrice f_i

$$f_i = \frac{1}{a}\cdot NI_0 \left[2\,\frac{a}{\pi}\int_0^{\pi-\frac{b'}{a}\frac{\pi}{2}-\frac{\pi y}{a}} \cos z\,dz - \int_{\frac{b'}{a}\frac{\pi}{2}-\frac{\pi y}{a}}^{\pi-\frac{b'}{a}\frac{\pi}{2}-\frac{\pi y}{a}} \cos z\,dz \right]$$

$$= \frac{1}{\pi} NI_0 \left[2\sin\left(\frac{b'}{a}\,\frac{\pi}{2} + \frac{\pi y}{a}\right) - \sin\left(\frac{b}{a}.\frac{\pi}{2} + \frac{\pi y}{a}\right) + \sin\left(\frac{b'}{a}\,\frac{\pi}{2} - \frac{\pi y}{a}\right)\right]$$

$$= \frac{2}{\pi}\sin\frac{b'}{a}\,\frac{\pi}{2}\cos\frac{\pi y}{a}\,.\,NI_0 \qquad (4)$$

Pour avoir la valeur de la force magnétomotrice moyenne sur l'ensemble de la pièce polaire de largeur apparente b, il suffit de prendre, comme nous l'avons dit, la moyenne de toutes ces moyennes lorsque y varie de $-\frac{b}{2}$ à $\frac{b}{2}$ d'où,

$$\mathfrak{F}_i = \frac{1}{b}\,\frac{2}{\pi}\sin\frac{b'}{a}\,\frac{\pi}{2} NI_0 \int_{-\frac{b}{2}}^{+\frac{b}{2}} \cos\frac{\pi y}{a}\,dy$$

ou en posant $\frac{\pi y}{a} = z$

$$\mathfrak{F}_i = \frac{2}{\pi^2}\,\frac{a}{b}\sin\frac{b'}{a}\,\frac{\pi}{2} NI_0 \int_{\frac{b}{a}\frac{\pi}{2}}^{+\frac{b}{a}\frac{\pi}{2}} \cos z\,dz$$

$$= \frac{4}{\pi^2}\,\frac{a}{b}\sin\frac{b}{a}\,\frac{\pi}{2}\sin\frac{b'}{a}\,\frac{\pi}{2} NI_0 \qquad (5)$$

ou en rétablissant $I_0 \sin\psi$ pour la valeur du courant déwatté maximum.

$$\mathfrak{F}_i = \frac{4}{\pi^2}\,\frac{a}{b}\sin\frac{b}{a}\,\frac{\pi}{2}\sin\frac{b'}{a}\,\frac{\pi}{2} NI.\sin\psi \qquad (6)$$

Un calcul analogue avec la composante wattée du courant

$$i = I_0 \sin\frac{\pi x}{a}$$

aurait montré que la force magnétomotrice correspondant à la réaction transversale est nulle.

Lorsque chaque bobine d'induit se compose de plusieurs bobines concentriques, on applique la formule à chacune d'elles et on fait la somme des résultats obtenus.

En particulier, si chaque pôle comporte 6 encoches, dont 4 seulement sont utilisées, on a :

$$\mathfrak{F}_i = 0{,}836\,\frac{4}{\pi^2}\,\frac{a}{b}\sin\frac{b}{a}\,\frac{\pi}{2} NI_0 \sin\psi$$

N désignant toujours le nombre de conducteurs par bobine complète ou le double du nombre de spires par pôle.

Avec 8 encoches, dont 6 utilisées, on a :

$$\mathfrak{F}_i = 0{,}81\,\frac{4}{\pi^2}\,\frac{a}{b}\sin\frac{b}{a}\,\frac{\pi}{2} NI_0 \sin\psi$$

On pourrait objecter à la formule de ne pas tenir compte de la largeur de l'ouverture des encoches dans l'entrefer.

Il serait facile de corriger la formule pour tenir compte de cette largeur, en supposant que les ampèretours induits vont en décroissant linéairement d'un bord de l'ouverture à l'autre. Le calcul conduit assez rapidement à l'expression approchée suivante, β étant la largeur de l'ouverture :

$$\frac{\pi}{64}\left(\frac{\beta}{a}\right)^3 \sin\frac{b}{a}\,\frac{\pi}{2}\cos\frac{b'}{2}\,\frac{\pi}{2} NI_0$$

qu'il faudrait ajouter à la valeur trouvée pour $\mathfrak{F}_i$.

Cette expression montre que cette correction est toujours négligeable.

Cas des courants polyphasés. — Passons maintenant au cas des courants polyphasés.

On pourrait évidemment faire un calcul analogue au précédent en introduisant les différentes phases de façon à étudier leur effet combiné. Mais il est évident que chaque phase se comportera comme si elle était seule, puisque l'intégrale d'une somme est égale à la somme des intégrales des différentes parties et qu'il sera par suite possible de partager les diverses intégrales en trois groupes qui fourniront la même somme.



L'expression des ampèretours de l'induit sera donc dans ce cas :

$$\mathcal{F}_i = \frac{4}{\pi^2}\, q\, \frac{a}{b} \sin \frac{b}{a}\frac{\pi}{2} \sin \frac{b'}{a}\frac{\pi}{2}\, \mathrm{NI_0} \sin \psi \quad (7)$$

en supposant toutefois qu'il y a N spires par pôle de l'induit. Ceci revient à dire qu'il faut accoupler deux à deux les encoches d'une même phase d'un pôle de façon à constituer autant de bobines fictives dont les largeurs b' seront celles à introduire dans la formule.

Quelques exemples feront bien comprendre ceci :

Prenons d'abord le cas d'un alternateur triphasé ayant une encoche par pôle et phase.

On a alors, si 2N est le nombre de spires par bobine, N spires par pôle et, de plus, $b' = a$, d'où :

$$\mathcal{F}_i = 3\,\frac{4}{\pi^2}\,\frac{a}{b} \sin \frac{b}{a}\frac{\pi}{2}\, \mathrm{NI_0} \sin \psi$$

et en désignant par N_1 le nombre de conducteurs par pôle et phase $(N_1 = 2N)$

$$\mathcal{F}_i = \frac{3}{2}\,\frac{4}{\pi^2}\,\frac{a}{b} \sin \frac{b}{a}\frac{\pi}{2}\, N_1 I_0 \sin \psi = 0{,}608\,\frac{a}{b} \sin \frac{b}{a}\frac{\pi}{2}\, N_1 I_0 \sin \psi$$

Soit maintenant le cas d'un alternateur triphasé à 2 encoches par pôle et par phase. Les 2 encoches non voisines d'une même phase sont distantes de $\frac{5}{6}a$, on a donc :

$$b' = \frac{5}{6}a$$

et par suite $\mathcal{F}i$, N_1 étant toujours le nombre de conducteurs par pôle et par phase $(N_1 = 2N)$;

$$\mathcal{F}_i = \frac{3}{2}\,\frac{4}{\pi^2}\,\frac{a}{b} \sin \frac{b}{a}\frac{\pi}{2} \sin 75^\circ\, N_1 I_0 \sin \psi$$

$$= 0{,}588\,\frac{a}{b} \sin \frac{b}{a}\frac{\pi}{2}\, N_1 I_0 \sin \psi$$

Avec 3 encoches par pôle et phase, on voit facilement qu'il y a une bobine de $\frac{N}{3}$ spires par pôle et une de $\frac{2N}{3}$ spires. On a alors, pour la première, $b' = a$, et, pour la seconde, $b' = \frac{7}{9}a$, d'où $(N_1 = 2N)$.

$$\mathcal{F}_i = \frac{3}{2}\,\frac{4}{\pi^2}\,\frac{a}{b} \sin \frac{b}{a}\frac{\pi}{2}\left[\frac{1}{3}\sin\frac{\pi}{2} + \frac{2}{3}\sin 70^\circ\right] N_1 I_0 \sin \psi$$

$$= 0{,}584\,\frac{a}{b} \sin \frac{b}{a}\frac{\pi}{2}\, N_1 I_0 \sin \psi \text{ (1)}$$

Force magnétomotrice inductrice compensatrice de la force magnétomotrice induite. — La force magnétomotrice de l'induit équivalente à la réaction directe étant déterminée, il ne suffit pas d'ajouter aux ampèretours inducteurs une valeur égale pour maintenir le même flux dans l'induit.

Ceci n'est, en effet, vrai que si la dispersion des inducteurs était nulle ; en réalité, l'augmentation des ampèretours inducteurs pour compenser la réaction directe va augmenter le flux de dispersion et nécessiter encore des ampèretours supplémentaires sur l'inducteur pour compenser la chute de potentiel magnétique que cette augmentation de fuite occasionnera.

Les ampèretours de réaction directe doivent donc être multipliés par un coefficient plus grand que l'unité.

La valeur de ce coefficient est facile à trouver.

Il suffit d'appliquer la loi de Kirchhoff aux circuits magnétiques inducteur et induit pour la marche à vide et pour la marche en charge avec un courant déwatté I.

Soient : $\mathcal{F}$, la force magnétomotrice d'inducteur à vide, $\mathcal{F} + \mathcal{F}'$ la force magnétomotrice de l'inducteur en charge et $\mathcal{F}_i$ la force magnétomotrice induite.

r la résistance magnétique des noyaux inducteurs de la culasse,

$\mathcal{R}_i$ la résistance magnétique de l'induit, entrefer, fer induit et pièce polaire.

$\mathcal{R}_a$ la résistance magnétique du circuit de dispersion de l'inducteur.

Φ_i le flux dans l'induit supposé constant.

(1) D'une façon générale il est facile d'établir que si q est le nombre de phases de l'alternateur, u celui des encoches par pôle et par phase supposées voisines et N le nombre de conducteurs par pôle et par phase, la valeur de la force magnétomotrice moyenne directe est

$$\mathcal{F}_i = \frac{4}{\pi^2}\, q \sin \frac{b}{a}\frac{\pi}{2}\, \frac{\sin \frac{\pi}{2q}}{u \sin \frac{\pi}{2qu}}\, \mathrm{NI_0} \sin \psi.$$



Φ le flux dans l'inducteur à vide pour un flux Φ_i dans l'induit.

Φ' le flux dans l'inducteur en charge pour un même flux Φ_i dans l'induit.

Φ_a le flux de dispersion de l'inducteur à vide pour un flux Φ dans l'inducteur.

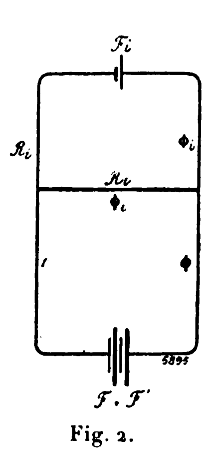


Fig. 2.

Φ'_a le flux de dispersion de l'inducteur en charge. Nous aurons (fig. 2) pour la marche à vide :

$$\mathcal{F} - r(\Phi_i + \Phi_a) = \mathcal{R}_i\Phi_i = \mathcal{R}_a\Phi_a \qquad (8)$$

et pour la marche en charge

$$\mathcal{F} + \mathcal{F}' - r(\Phi_i + \Phi'_a) = \mathcal{R}_i\Phi_i + \mathcal{F}_i = \mathcal{R}_a\Phi'_a \qquad (9)$$

On en déduit par soustraction

$$\mathcal{F}' - r(\Phi'_a - \Phi_a) - \mathcal{F}_i = \mathcal{R}_a(\Phi'_a - \Phi_a)$$

d'où en éliminant $\Phi'_a - \Phi_a$

$$\mathcal{F}' = \mathcal{F}_i\,\frac{r + \mathcal{R}_a}{\mathcal{R}_a}$$

$$= \mathcal{F}_i\left(1 + \frac{r}{\mathcal{R}_a}\right) \qquad (10)$$

Le facteur cherché est donc $1 + \frac{r}{\mathcal{R}_a}$.

Ceci suppose que la résistance r reste la même à vide et avec un courant déwatté I dans l'induit.

En général, cette hypothèse n'est réalisée que pour la marche en court-circuit à laquelle nous appliquerons de préférence cette expression. Si la résistance r augmente d'une quantité Δr en passant de la marche à vide à la marche en charge, l'expression de $\mathcal{F}'$ est :

$$\mathcal{F}' = \mathcal{F}_i\left(1 + \frac{r + \Delta r}{\mathcal{R}_a}\right) + \Delta r\,\frac{\mathcal{F}}{r + \frac{\mathcal{R}_a\mathcal{R}_i}{\mathcal{R}_a + \mathcal{R}_i}} \qquad (11)$$

Cette formule offre quelque intérêt, car la correction correspondante pourrait être faite facilement en déterminant Δr ou $r + \Delta r$ à l'aide de la caractéristique à vide [1].

On peut naturellement prendre le problème par un autre bout. On peut en particulier, comme l'ont fait MM. Giles et Picou, chercher quelle doit être l'augmentation des ampèretours inducteurs pour maintenir avec la réaction directe le même flux dans l'inducteur que pour la marche à vide.

Si Φ'_i est le flux dans l'induit en charge, on a pour la marche en charge les deux équations :

$$\mathcal{F} + \mathcal{F}' - r(\Phi'_i + \Phi'_a) = \mathcal{R}_i\Phi'_i + \mathcal{F}_i = \mathcal{R}_a\Phi'_a \qquad (12)$$

avec la condition :

$$\Phi'_i + \Phi'_a = \Phi_i + \Phi_a$$

Si nous retranchons membre à membre (8) et (12) on obtient :

$$\mathcal{F}' = \mathcal{R}_i(\Phi'_i - \Phi) + \mathcal{F}_i.$$

[1] La seule inconnue est en effet Δ_r ou $r + \Delta r$.

Pour l'obtenir, il suffit de remarquer que l'augmentation de flux dans l'inducteur est :

$$\Phi'_a - \Phi_a = \frac{\mathcal{F}_i}{\mathcal{R}_a}$$

ce qui permet de déterminer la valeur de $r + \Delta r$.

Pour cela on trace (fig. 3) la caractéristique à vide

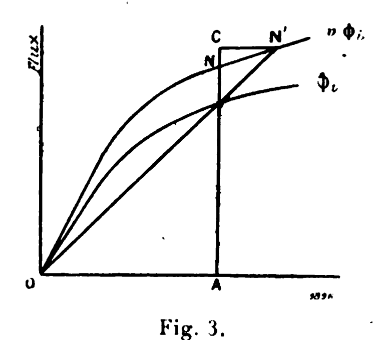


Fig. 3.

et la courbe du flux à vide dans l'inducteur qui s'obtient en multipliant les ordonnées de la première par ν.

A partir du point N correspondant aux ampèretours OA = F à vide, on porte une longueur NC égale à $\frac{\mathcal{F}_i}{\mathcal{R}_a}$, et l'on mène par C une parallèle à OA jusqu'à sa rencontre avec la courbe en N'.

L'angle N'OA a pour tangente :

$$\frac{1}{r + \Delta_r + \frac{\mathcal{R}_i\mathcal{R}_a}{\mathcal{R}_i + \mathcal{R}_a}}.$$



D'autre part les équations (3) résolues par rapport à Φ'_i et Φ'_a donnent :

$$\Phi'_i = \frac{\mathcal{R}_a(\mathcal{F}+\mathcal{F}') - (\mathcal{R}_a + r)\,\mathcal{F}_i}{(\mathcal{R}_i+\mathcal{R}_a)\,r + \mathcal{R}_i\mathcal{R}_a}$$

$$\Phi'_a = \frac{\mathcal{R}_i(\mathcal{F}+\mathcal{F}') + r\mathcal{F}_i}{(\mathcal{R} + \mathcal{R}_a)\,r_i + \mathcal{R}\,\mathcal{R}_a}.$$

On déduit de la première :

$$\Phi'_i - \Phi_i = \frac{\mathcal{R}_a\mathcal{F}' - (\mathcal{R}_a + r)\,\mathcal{F}_i}{(\mathcal{R}_i+\mathcal{R}_a)\,r + \mathcal{R}_i\mathcal{R}_a},$$

ce qui donne en portant dans l'expression de $\mathcal{F}'$

$$\mathcal{F}' = \frac{\mathcal{R}_i\mathcal{R}_a - \mathcal{R}_i(\mathcal{R}_a + r)\,\mathcal{F}_i}{(\mathcal{R}_i+\mathcal{R}_a)\,r + \mathcal{R}_i\mathcal{R}_a} + \mathcal{F}_i,$$

d'où, toutes réductions faites :

$$\mathcal{F}' = \frac{\mathcal{R}_a}{\mathcal{R}_a+\mathcal{R}_i}\,\mathcal{F}_i = \frac{\mathcal{F}_i}{\nu}, \qquad (13)$$

en remarquant que le rapport :

$$\frac{\mathcal{R}_a+\mathcal{R}_i}{\mathcal{R}_a} = \frac{\Phi_i+\Phi_a}{\Phi_i} = \nu$$

définit le coefficient d'Hopkinson pour la marche à vide.

L'expression de $\Phi'_i - \Phi_a$ devient :

$$\Phi'_i - \Phi_a = -\frac{\mathcal{F}_i}{\mathcal{R}_i+\mathcal{R}_a} \qquad (14)$$

La présence d'un courant I dans l'induit nécessite donc, pour maintenir le flux constant dans l'inducteur, une augmentation des ampère-tours inducteurs de $\frac{\mathcal{F}_i}{\nu}$ et occasionne une diminution du flux induit de

$$\frac{\mathcal{F}_i}{\mathcal{R}_i+\mathcal{R}_a} = \frac{\mathcal{F}_i}{\nu}\,\frac{1}{\mathcal{R}_a}$$

et par suite une augmentation égale de la dispersion de l'inducteur

$$\frac{\mathcal{F}_i}{\nu} \times \frac{1}{\mathcal{R}_a}$$

Cette façon d'envisager le problème, quoique moins commode que celle que nous avons indiquée plus haut pour le cas de la marche en court-circuit, est néanmoins fort intéressante, comme nous le verrons plus loin pour la marche en charge, car elle présente seule l'avantage de laisser subsister la même induction dans les inducteurs et par suite la même valeur que r.

On pourrait encore supposer que l'excitation reste constante et chercher à quelle réduction de force magnétique donnerait lieu la présence d'un courant I dans l'induit.

Nous ne ferons pas le calcul dans ce cas, nous nous contenterons d'en indiquer les résultats.

La réduction du flux total dans l'inducteur équivaut toujours à la diminution de la force magnétomotrice d'une quantité $\frac{\mathcal{F}_i}{\nu}$, et les expressions de la diminution du flux induit et de l'augmentation du flux de fuite de l'inducteur, qui sont :

$$\Phi'_i - \Phi_i = -\frac{\frac{\mathcal{F}_i}{\nu}\left(1 + \frac{r}{\mathcal{R}_a}\right)}{r + \frac{\mathcal{R}_i\mathcal{R}_a}{\mathcal{R}_i+\mathcal{R}_a}} \qquad (15)$$

$$\Phi'_a - \Phi_a = \frac{\frac{\mathcal{F}_i}{\nu} \times \frac{r}{\mathcal{R}_a}}{r + \frac{\mathcal{R}_i\mathcal{R}_a}{\mathcal{R}_i+\mathcal{R}_a}} \qquad (16)$$

sont un peu plus compliquées que précédemment, mais encore susceptibles d'applications faciles.

Comme dans le premier cas, il y aurait lieu de faire une correction tenant compte de ce que la résistance magnétique r ne reste pas constante et qui se fera d'ailleurs simplement comme on le verra plus loin.

Force magnétomotrice équivalente aux ampèretours du courant symphasique. — L'influence de la force magnétomotrice due à la réaction transversale a été mise en lumière par M. Blondel, mais jusqu'ici aucune expression de cette force magnétomotrice n'a été donnée. Nous devons dire toutefois, que le professeur Arnold a établi une expression du flux transversal en ne tenant compte que de la largeur réelle du pôle, ce qui permet par suite d'en déduire la valeur de la force magnétomotrice moyenne.

Pour calculer directement la force magnétomotrice moyenne transversale, c'est-à-dire la force magnétomotrice moyenne qui s'exerce sur l'ensemble des tubes de force qui se ferment autour du centre de chaque pôle inducteur, il nous suffit évidemment de calculer la force magnétomotrice agissant sur un tube de force traversant l'entrefer en deux points équidistants

du centre du pôle pour toutes les positions comprises dans une demi-période, de faire la moyenne de cette force magnétomotrice, puis la moyenne des forces magnétomotrices de tous les tubes de force transversaux.

Pour simplifier, nous supposerons que la totalité du courant I est en coïncidence de phase avec la tension à vide.

Cas d'un alternateur à courants alternatifs simples. — Soit :

$$i = I_0 \sin \frac{\pi x}{a}$$

l'expression du courant symphasique.

La largeur du pôle que nous aurons à considérer ici sera encore la largeur apparente b,

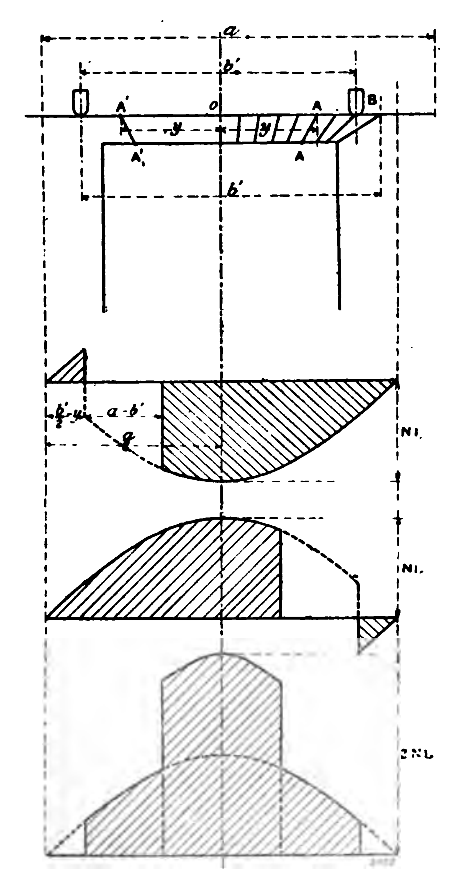


Fig. 4.

c'est-à-dire celle du flux sortant de l'épanouissement et pénétrant dans l'induit.

La force magnétomotrice le long d'un tube de force transversal est évidemment égale à la différence algébrique des forces magnétomotrices aux deux points équidistants du centre du pôle où le tube traverse l'entrefer.

Désignons encore (fig. 4) par y la distance en valeur absolue des deux points considérés au centre.

En raisonnant comme plus haut, on voit que la force magnétomotrice au point A_1 est représentée par les ordonnées de la courbe de la figure ci-contre.

Si nous avons considéré le point A′ situé à gauche du point O à la distance y, nous aurions évidemment obtenu une courbe analogue, mais où la partie tronquée se trouve dans la seconde partie de la demi-période.

La force magnétomotrice instantanée le long du tube de force considéré s'obtiendra en faisant la différence des deux courbes, d'où la nouvelle courbe.

La force magnétomotrice moyenne est égale pour deux entrefers à la surface comprise entre la courbe et l'axe des temps, divisé par a.

On a donc pour un seul entrefer :

$$f'_i = \frac{1}{a} \int_{\frac{b'}{a} - y}^{\frac{b'}{a} + y} NI_0 \sin \frac{\pi x}{a} \, dx$$

d'où en posant :

$$z = \frac{\pi x}{a}$$

$$f'_i = \frac{1}{\pi} NI_0 \int_{\frac{b'}{a}\frac{\pi}{2} - \frac{\pi y}{a}}^{\frac{b'}{a}\frac{\pi}{2} + \frac{\pi y}{a}} \sin z \, dz$$

$$= \frac{1}{\pi} NI_0 \left[\cos\left(\frac{b'}{a}\frac{\pi}{2} - \frac{\pi y}{a}\right) - \cos\left(\frac{b'}{a}\frac{\pi}{2} + \frac{\pi y}{a}\right) \right]$$

$$= \frac{2}{\pi} \sin \frac{b'}{a}\frac{\pi}{2} \cos \frac{\pi y}{a} NI_0. \tag{17}$$

La valeur de la force magnétomotrice moyenne pour chaque pôle s'obtiendra en faisant la somme des valeurs de f'_i lorsque y varie de O à $\frac{b}{2}$ d'où :

$$\mathcal{F}'_i = \frac{2}{\pi} \sin \frac{b'}{a}\frac{\pi}{2} NI_0 \frac{2}{b} \int_0^{\frac{b}{2}} \sin \frac{\pi y}{a} \, dy$$

$$= \frac{4}{\pi^2} \frac{a}{b} \sin \frac{b'}{a}\frac{\pi}{2} \left(1 - \cos \frac{b}{a}\frac{\pi}{2}\right) NI_0 \tag{18}$$

En faisant le calcul avec le courant déwatté, on verrait que la force magnétomotrice moyenne transversale est nulle.

Si nous remplaçons I_0 pour la composante wattée $I_0 \cos \psi$, nous aurons :

$$\mathcal{F}'_i = \frac{4}{\pi^2}\frac{a}{b}\left(1 - \cos\frac{b}{a}\frac{\pi}{2}\right)\sin\frac{b'}{a}\frac{\pi}{2}\, NI_0 \cos\Phi \quad (19)$$

Il est intéressant de comparer cette formule à celle que nous avons obtenue pour les ampère-tours par pôle dus à la réaction directe. On voit qu'à part les facteurs $\sin\psi$ et $\cos\psi$, ces deux expressions ne diffèrent que par les facteurs.

$$\sin\frac{b}{a}\frac{\pi}{2} \qquad \text{et} \qquad 1 - \cos\frac{b}{a}\frac{\pi}{2}$$

lesquels ne deviennent égaux que pour $a = b$. Dans ce cas seulement, les forces magnétomotrices correspondant aux deux réactions de l'induit sont les côtés d'un triangle rectangle dont l'hypothénuse a pour valeur $\frac{4}{\pi^2} NI_0 \sin\frac{b'}{a}\frac{\pi}{2}$ et dont l'un des angles est ψ.

Dans les autres cas, il n'en est plus ainsi, car on voit facilement que pour des valeurs de b décroissantes le facteur $\left(1 - \cos\frac{b}{a}\frac{\pi}{2}\right)$ décroît beaucoup plus vite que le facteur $\sin\frac{b}{a}\frac{\pi}{2}$ et que par suite la proportionnalité ne peut se conserver.

Comme plus haut, il sera facile de déduire de la formule précédente la force magnétomotrice correspondant aux cas où il y a plusieurs bobines par pôle, les coefficients numériques resteront d'ailleurs les mêmes [1].

Cas des courants polyphasés. — Ce cas doit être traité d'une façon identique à celle que nous avons adoptée pour la force magnétomotrice due à la réaction directe.

Le résultat final sera donc comme plus haut :

$$\mathcal{F}'_i = \frac{4}{\pi^2} q \left(1 - \cos\frac{b}{a}\frac{\pi}{2}\right)\sin\frac{b'}{a}\frac{\pi}{2}\, NI_0 \cos\psi$$

avec la même hypothèse sur N, c'est-à-dire en désignant par N le nombre de spires par pôle de l'induit.

Les exemples donnés plus haut conduiront évidemment aux mêmes coefficients numériques.

Détermination expérimentale des valeurs de $\mathcal{F}_i$ et $\mathcal{F}'_i$. — On peut expérimentalement déterminer les éléments nécessaires à la vérification des expressions que nous venons de donner des forces magnétomotrices correspondant à la réaction directe et à la réaction transversale.

1° *Réaction directe.* — M. A. Blondel a donné il y a deux ou trois ans, une méthode très simple pour la détermination de la force électromotrice correspondant à ce que l'on est convenu d'appeler la dispersion de l'induit. Cette méthode peut également servir pour déduire de l'expérience la valeur des contre-ampèretours ; il suffit d'y introduire une légère correction, inutile même dans quelques cas. pour tenir compte de l'influence de la dispersion de l'inducteur.

Rappelons d'abord la méthode de M. Blondel qui exige simplement la connaissance des caractéristiques à vide et en court-circuit en fonction des ampèretours inducteurs et un point en charge de la machine pour un fonctionnement sur un circuit purement inductif.

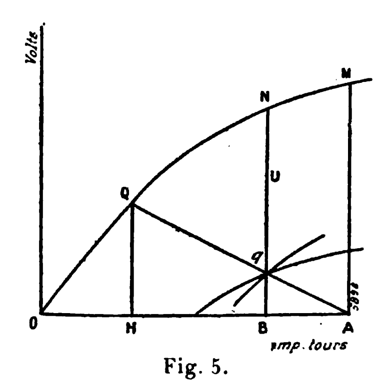


Fig. 5.

Soit OMN (fig. 5) la caractéristique à vide ; supposons l'excitation constante et égale à OA ampèretours. Si nous connaissions la valeur exacte des contre-ampèretours de l'induit correspondant au courant de court-circuit I_{cc} pour une excitation OA, en portant ces ampèretours en AH, on aurait en HQ la force électromotrice de dispersion de l'induit.

Cette force électromotrice est proportionnelle à l'intensité du courant I_{cc}, il en résulte que l'angle QAH est indépendant du courant.

[1] Dans le cas général d'un alternateur à q phases et u encoches voisines par pôle et par phase, l'expression de la force magnétomotrice transversale par pôle de l'induit est :

$$\mathcal{F}'_i = \frac{4}{\pi^2} q \left(1 - \cos\frac{b}{u}\frac{\pi}{2}\right)\frac{\sin\frac{\pi}{2q}}{u \sin\frac{\pi}{2qu}} N I_0 \cos\psi$$



Si donc, on portait à partir de A un nombre d'ampèretours AB correspondant à l'intensité I du courant déwatté produit par la machine, on aurait en Bq la force électromotrice de dispersion correspondant à ce courant et par suite en qN la différence de potentiel U aux bornes pour l'excitation OA et le débit déwatté I.

Le point q est en somme déterminé par deux conditions : sa distance verticale à la courbe à vide, distance égale à la tension U en charge, et sa distance radiale au point A qui est égale à $\frac{I}{I_{cc}} \times AQ$.

Ce point se trouve donc à l'intersection de deux courbes faciles à construire : une courbe parallèle à la caractéristique à vide tracée à une distance verticale U au-dessous de la première et une courbe homothétique à la même caractéristique par rapport au point A et avec un rapport d'homothétie égal à $\frac{I}{I_{cc}}$.

Cette méthode suppose implicitement que le triangle rectangle ABq reste constamment semblable à lui-même ; ceci n'est vrai que s'il n'y a pas de fuites magnétiques dans l'inducteur ou que si la résistance magnétique r est négligeable, ou autrement dit que si le rapport $\frac{r}{R_a}$ est égal à zéro.

En effet, reprenons la formule (15) donnant la diminution du flux dans l'induit pour une excitation constante F lorsqu'on charge la machine avec un débit I sur résistance complètement inductive. On a :

$$\Phi'_i - \Phi_i = - \frac{\mathcal{F}_i\left(1 - \frac{r}{\mathcal{R}_a}\right)}{\nu\left(r + \frac{\mathcal{R}_i\mathcal{R}_a}{\mathcal{R}_i + \mathcal{R}_a}\right)}$$

Si nous traçons la caractéristique à vide (fig. 6) et si nous joignons OM, on sait que la tangente de l'angle MOA est précisément :

$$\frac{1}{\nu\left(1 + \frac{\mathcal{R}_i\mathcal{R}_a}{\mathcal{R}_i + \mathcal{R}_a}\right)}$$

pour avoir la diminution de flux induit, il suffira donc de retrancher de la force magnétomotrice $\mathcal{F}$ d'abord $\mathcal{F}_i$, puis $\frac{r}{\mathcal{R}_a}\mathcal{F}_i$.

Si nous portons en AB la valeur de la force magnétomotrice induite $\mathcal{F}_i$, NB représenterait le flux en charge si les fuites de l'inducteur n'existaient pas. En réalité l'influence des fuites est de diminuer encore le flux dans l'induit d'une quantité

$$\frac{\frac{r}{\mathcal{R}_a}\mathcal{F}_i}{\nu\left(r + \frac{\mathcal{R}_i\mathcal{R}_a}{\mathcal{R}_i + \mathcal{R}_a}\right)}$$

Cette seconde diminution étant précisément l'augmentation du flux de fuite de l'inducteur, le flux dans l'inducteur reste égal à NB $\times\ \nu$, autrement dit la valeur de r à introduire dans cette formule est celle qui correspond au point N.

Pour retrancher le flux correspondant à l'effet de la dispersion, nous n'aurons donc qu'à porter à partir de B une longueur $BB' = \frac{r}{\mathcal{R}_a}\mathcal{F}_i$ (r étant la résistance magnétique correspondant au point N) à élever la perpendiculaire en B' jusqu'à sa rencontre en C avec ON, puis à mener CN' parallèle à OA. BN' représentera le flux disponible dans l'induit.

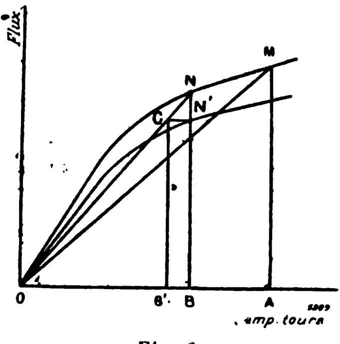


Fig. 6.

Pour tenir compte de l'influence de la dispersion dans la méthode de M. Blondel, il suffira de substituer à la caractéristique à vide ONM la caractéristique ON'M' qui lui est un peu inférieure.

En pratique, avec des alternateurs à faibles fuites magnétiques et à joints magnétiques inducteurs bien faits le rapport $\frac{r}{\mathcal{R}_a}$ dépasse rarement 0,1 ; la correction est alors en somme de peu d'intérêt si les ampèretours de l'induit sont en proportion assez faible par rapport aux ampèretours inducteurs. Il n'en est plus de même lorsque les joints sont défectueux, comme par exemple, dans les alternateurs à pôles en tôles feuilletées non dressés ou à fuites magnétiques

très importantes, dans ce cas, le rapport $\frac{r}{\mathcal{R}_a}$ peut atteindre des valeurs telles que la correction devient indispensable.

Exemple. — Appliquons la méthode que nous venons d'indiquer, à l'un des alternateurs Heyland, de 760 kilovolts-ampères de la Société Electricité et Hydraulique et dont M. Heyland a donné les dimensions et les caractéristiques ici-même [1].

Pour un débit de 100 ampères sur un circuit complètement inductif, M. Heyland a trouvé pour une excitation de 150 ampères ou de 7 500 ampèretours, une tension aux bornes de 2 140 volts. La tension à vide était de 2 380 volts.

L'application de la formule pour deux encoches par pôle et par phase donne $a = b$

$$F_i = 0{,}588 \times 6 \times 141$$
$$= 550 \text{ ampèretours.}$$

La méthode graphique de M. Blondel sans la correction indiquée conduit au même résultat. La force électromotrice due à la dispersion de l'induit et obtenue par surcroît est de 160 volts.

2° *Réaction transversale.* — La force magnétomotrice transversale de l'induit ne peut se déterminer expérimentalement qu'en faisant travailler la machine sur un circuit contenant une capacité (cuves en série) de façon à rendre le courant sensiblement en phase avec la tension à vide, ainsi que l'a proposé M. Blondel. La force magnétomotrice se déduit alors de la construction d'un triangle rectangle dont l'hypothénuse représente les ampèretours inducteurs, correspond à vide à la tension obtenue en charge et l'un des côtés de l'angle droit les ampèretours inducteurs pendant l'essai.

Cette méthode n'est applicable que si les flux sont proportionnels aux forces magnétomotrices, c'est-à-dire que si les circuits magnétiques ne sont pas saturés.

Si l'induit n'est pas saturé, on peut encore l'appliquer, mais le triangle rectangle, comme nous le verrons plus loin, doit être construit cette fois avec les tensions à vide et en charge et la force magnétomotrice donnant lieu à la réaction transversale doit être cherchée ensuite sur la caractéristique de l'induit seul, c'est-à-dire sur la droite représentant la valeur du flux dans l'induit en fonction des ampèretours nécessaires pour faire passer ce flux dans l'induit (entrefer et fer induit).

(*A suivre.*)

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XXV, p. 416, 15 déc. 1900.

Construction des transformateurs Tesla. Période d'oscillation et coefficient d'induction propre des bobines, par **P. Drude**. *Drude's Annalen*, t. IX, p. 293-339 et p. 590-610, octobre et novembre 1902.

Pour construire d'une manière rationnelle un transformateur Tesla, il faut pouvoir calculer *a priori* la période d'oscillation de la bobine secondaire et le coefficient d'induction propre de la bobine primaire. Sinon on est réduit à des tâtonnements qui peuvent être fort longs.

Dans ce qui suit, il s'agira seulement des bobines dont tout le fil est enroulé dans un même sens.

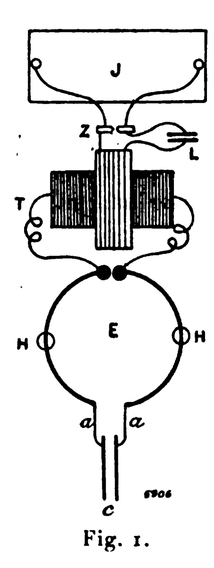


Fig. 1.

1. *Détermination expérimentale de la période d'oscillation d'une bobine.* — Pour cette détermination on utilise les phénomènes de résonance électrique.

La bobine étudiée S est placée dans le champ des oscillations d'un excitateur Blondlot E (fig. 1) formé de deux demi-circonférences de 21 cm de diamètre, en fil de cuivre de 3 mm. A l'une de leurs extrémités, les fils sont recourbés vers le bas et viennent plonger dans un cristallisoir rempli de pétrole. Ils sont terminés par des boules de 1/2 cm de diamètre, écartées d'environ 1/4 de mm ; cet écartement peut être réglé par le déplacement de l'une des colonnes

d'ébonite H qui portent les cercles. Ces boules sont reliées aux extrémités du secondaire d'un transformateur Tesla.

Les autres extrémités de l'excitateur sont reliées par les fils fins *aa* aux armatures d'un condensateur. Ce condensateur est constitué par deux armatures circulaires, plongées dans un bain de pétrole. Le pétrole permet de réduire l'écartement des armatures à 1 mm, sans craindre ni les étincelles, ni les effluves (fig. 2).

La bobine étudiée est dressée sur des blocs de bois au centre de l'excitateur, à une hauteur de 5 à 30 cm suivant les cas, au-dessus du plan des cercles et un tube à gaz raréfié est placé sur l'une de ses extrémités. Ce tube s'illumine seu-

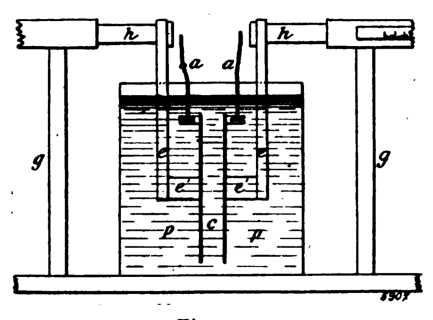


Fig. 2.

lement pour un écartement déterminé des armatures du condensateur. Cet écartement est d'autant mieux défini que la liaison magnétique entre l'excitateur et la bobine est plus lâche. Il en résulte qu'il faut éloigner autant que possible la bobine de l'excitateur, pour cette raison et pour deux autres encore. On diminue ainsi la réaction sur l'excitateur des oscillations induites dans la bobine et aussi l'augmentation de capacité du tube à gaz raréfié qui résulterait d'une luminescence intense. L'influence de cette capacité est d'autant plus faible d'ailleurs que la période propre de la bobine est plus longue.

Pour déterminer la période qui correspond à chaque écartement des armatures du condensateur on procède comme il suit :

La bobine étant enlevée, on tend, au-dessus de l'excitateur deux fils de cuivre nus, de 1 mm de diamètre, longs de 7 m, maintenus parallèles avec un écartement de 2,7 cm. A leur extrémité A, du côté de l'étincelle de l'excitateur ils sont reliés ensemble. Vers l'autre extrémité, ils sont réunis par un pont mobile B. On déplace ce pont jusqu'à ce que le tube à gaz raréfié placé sur les fils, à peu près à égale distance de A et de B, présente son maximum de luminescence. A chaque écartement des armatures du condensateur répond un position bien déterminée du pont B, pour laquelle il y a résonance entre les deux systèmes. La demi-longueur d'onde est égale à la distance AB augmentée de la demi-longueur du pont et d'une petite correction nécessitée par la capacité du tube luminescent.

Lorsqu'on déplace les armatures du condensateur, on met, en la touchant avec la main, l'une des armatures en communication avec le sol. Il peut en résulter une augmentation de capacité. La méthode indiquée permet de vérifier que cette augmentation n'a d'importance que si les armatures du condensateur sont fort écartées, c'est-à-dire sa capacité très petite.

Règle de similitude. — D'après la forme des équations différentielles du champ magnétique, les périodes propres de deux bobines géométriquement semblables sont proportionnelles à leurs dimensions homologues. Cette règle permet d'étendre aux bobines de grandes dimensions, les résultats obtenus par les expériences effectuées sur les bobines plus petites.

Influence de la nature du noyau d'une bobine et du milieu ambiant sur la période d'oscillation. — La période d'oscillation de bobines de dimensions identiques, mais enroulées sur des noyaux de substance différente, croît avec le pouvoir inducteur du noyau. Elle croît plus lentement que la racine carrée de ce pouvoir inducteur. Les bobines enroulées sur des noyaux de substance isolante ont une période plus courte quand le noyau est creux que si le noyau est plein ; cette période est d'autant plus courte que les parois du cylindre sont plus minces.

Si la bobine est plongée dans un bain de pétrole au lieu d'être dans l'air, sa période d'oscillation augmente encore.

Ces variations se déduisent aisément de la répartition des lignes de force électrique [1].

[1] Exemples 1. Bobine de fil de cuivre nu de 1 mm de diamètre : diamètre intérieur de la bobine 15 mm ; hauteur, 26 cm ; 100 spires.

Dans l'air	$\frac{1}{2}\lambda =$	176 cm.
Dans le pétrole		360 »
Sur un tube de verre épais de 1,2 mm		290 »
Sur ce même tube plein d'eau distillée		354 »

Dans la construction des transformateurs Tesla, il faut écarter les bobines à noyau de bois et employer de préférence les bobines sur noyau d'ébonite, ou sur tube de verre, ou encore mieux sans noyau.

En introduisant dans l'intérieur de la bobine un conducteur, on diminue beaucoup l'intensité de l'excitation en même temps que la longueur d'onde des oscillations propres. C'est l'effet des courants induits dans ce conducteur.

L'influence du noyau sur la période propre de la bobine est d'autant plus accusée que le diamètre de la bobine est plus grand par rapport à sa longueur.

Influence de la couverture isolante du fil. — Un guipage de soie ne modifie pas la période ; mais un guipage épais, en coton ciré, augmente de quelques centièmes la longueur d'onde. Par exemple, une couverture isolante de coton, dont l'épaisseur est égale au diamètre même du fil augmente la période de 1 1/2 p. 100 si la bobine a une hauteur au moins égale à son diamètre : dans les bobines plus courtes, cette augmentation atteint 4 p. 100.

Bobine dont le pas est irrégulier. — Pour une même hauteur d'enroulement et une même longueur de fil, une bobine dont les spires médianes sont plus resserrées, a une période plus longue que celle d'une bobine à pas uniforme ; une bobine dont les spires terminales sont plus resserrées a une période plus courte.

Paramètres dont dépend la période d'une bobine à pas uniforme. — La période d'une bobine à pas uniforme, placée dans l'air, dépend des éléments suivants :

n, nombre de spires ;
g, pas des spires ;
h, hauteur de la bobine ;
$2r$, diamètre de la bobine ;
l, longueur du fil ;
δ, diamètre du fil ;
Epaisseur et nature de l'isolement ;
ε, pouvoir inducteur du noyau ;
Epaisseur de ce noyau, s'il est creux.

Ces paramètres ne sont pas d'ailleurs tous indépendants entre eux. On a

$$h = (n - 1)\, g \qquad l = 2 n \pi r.$$

D'après la règle de similitude, λ doit croître proportionnellement à la longueur du fil l, quand n reste constant et que h, r, l, g, δ croissent dans le même rapport. Donc,

$$1/2\lambda = l f\left(n_1\ \frac{h}{2r},\ \frac{g}{\delta},\ \varepsilon\right)$$

la fonction f dépend encore de la nature et de l'épaisseur de la couverture isolante du fil. Le paramètre dont l'influence est prépondérante est $\frac{h}{2r}$. L'expérience montre que λ est indépendant de n.

Quand $\frac{g}{\delta}$ reste constant, la fonction f décroît quand $\frac{h}{2r}$ croît et d'autre part, quand $\frac{h}{2r}$ reste constant, f augmente à mesure que $\frac{g}{\delta}$ diminue et d'autant plus que $\frac{h}{2r}$ est plus petit [1],

Bobines à noyau de bois. — L'espèce de bois influe sur la valeur de f. L'auteur a comparé des noyaux de frêne, de hêtre blanc et rouge, de chêne, tous très secs et ayant leur axe parallèle aux fibres.

Sur ce tube vide et entourée d'un autre à l'extérieur, haut de 23 cm, de 4,7 cm de diamètre, épais de 3 mm . . . . 320 »

Dans le tube extérieur rempli de pétrole . . 340 »

2. Bobine de fil isolé : 1 mm de diamètre et 2 mm. avec la couche isolante : enroulé sur un noyau plein en ébonite, de 5,9 cm de diamètre et 2,7 de hauteur : 10 spires.

Bobine de mêmes dimensions sur noyau en bois de chêne et sur noyau d'ébonite.

Mêmes bobines, mais avec les noyaux évidés, à 1,5 mm d'épaisseur pour l'ébonite, 3,5 mm. pour le bois.

Noyau d'ébonite creux . . . . . . $\frac{1}{2}\lambda =$	365	cm.
» de chêne »	386	»
» d'ébonite plein	406	»
» de chêne »	440	»

Le bois de chêne aurait donc un pouvoir inducteur plus grand que celui de l'ébonite : c'est en effet ce que vérifient les mesures directes.

D'ailleurs le pouvoir inducteur du bois est différent dans la direction des fibres et dans la direction perpendiculaire. Une lame de bois coupée perpendiculairement aux fibres a un pouvoir inducteur plus grand et une absorption électrique appréciable, tandis qu'une lame parallèle aux fibres n'a pas d'absorption.

(1) Dans les bobines courtes et larges, la valeur de $\frac{h}{2r}$ et celle de $\frac{g}{\delta}$ ont une influence si marquée qu'il faut enrouler la bobine avec beaucoup de soin pour déterminer la valeur de f à 1 p. 100 près.

Pour caractériser l'effet de la nature du bois, on cal-

La variation n'est pas la même pour les diverses espèces de bois, parce que leur pouvoir inducteur n'est pas le même. Des mesures il semble résulter que le frêne et le hêtre rouge ont à peu près le même pouvoir inducteur ; celui du hêtre blanc est plus grand et celui du chêne le plus grand de tous. De plus, dans les noyaux faits de ces deux dernières essences, p diminue moins vite quand $\frac{h}{2r}$ augmente, cela tient sans doute à ce que la différence de pouvoir inducteur entre la direction des fibres et la direction perpendiculaire y est plus accusée.

Bobines sur noyaux creux (*tubulaires*). — Il faut tenir compte en plus, si le noyau est creux, de l'épaisseur des parois e. La variation relative p est indépendante de $\frac{g}{\delta}$, mais dépend de $\frac{h}{2r}$ et de $\frac{e}{2r}$.

Si $\frac{e}{2r}$ est petit, la longueur d'onde est diminuée.

Lorsque $\frac{e}{r}$ reste constant, la période d'une bobine enroulée sur tube, se rapproche d'autant plus de la période d'une bobine identique sans noyau, que $\frac{h}{2r}$ devient plus grand. Les deux périodes deviennent égales d'autant plus tôt que $\frac{e}{r}$ et le pouvoir inducteur de la matière du tube est plus petit.

Bobines sans noyau. — Toutes choses égales d'ailleurs, ce sont ces bobines qui ont la période la plus courte. Comme, d'autre part, elles ne donnent lieu à aucune absorption électrique, ce sont celles qui conviennent le mieux aux transformateurs Tesla.

Valeurs de f. — L'auteur a réuni dans un tableau (p. 322-323) les valeurs de f pour une série de valeurs de $\frac{h}{2r}$, de $\frac{g}{\delta}$, dans les bobines enroulées sur noyau d'ébonite massif, sans noyau, sur tube d'ébonite, sur tube de verre, sur noyaux massifs de frêne ou de hêtre rouge, de hêtre blanc, de chêne.

Théorie des oscillations dans une bobine longue et étroite. — L'intensité du courant dans la bobine est maxima au milieu et nulle aux extrémités. Le coefficient d'induction propre de la bobine est

$$L = \frac{2\, l^2}{\pi h}$$

(l = longueur du fil, h = celle de la bobine), avec une approximation d'autant plus grande que $\frac{h}{2r}$ est plus grand.

La capacité est

$$C = r\varphi\left(\frac{r}{h}\right).$$

En supposant la charge répartie sur deux circonférences, coïncidant avec les spires extrêmes de la bobine, la capacité s'exprime par les fonctions sphériques.

Quand $\frac{h}{r} \geqq \frac{3}{2}$, on peut arrêter le développement au deuxième terme ; en tenant compte de ce que les charges se trouvent non sur une spire, mais sur un certain nombre, il y a lieu d'introduire un facteur de correction α et la capacité s'exprime par :

$$C = 2\alpha r \frac{2 + \frac{h^2}{r^2} + \frac{r^2}{h^2}}{10 + 4\frac{h^2}{r^2} + 3\frac{r^2}{h^2}}$$

La longueur d'onde des oscillations propres est :

$$\lambda = 2\pi\sqrt{LC} = 4\sqrt{\alpha\pi\frac{r}{h}\frac{2 + \frac{h^2}{r^2} + \frac{r^2}{h^2}}{10 + 4\frac{h^2}{r^2} + 3\frac{r^2}{h^2}}}$$

et par conséquent :

$$f = \frac{\lambda}{2l} = 2\sqrt{\alpha\pi\frac{r}{h}\frac{2 + \frac{h^2}{r^2} + \frac{r^2}{h^2}}{10 + 4\frac{h^2}{r^2} + 3\frac{r^2}{h^2}}}$$

Les résultats des mesures sont d'accord avec ces déductions théoriques.

Quand $\frac{h}{2r}$, c'est-à-dire le nombre des spires

---

cule la variation relative

$$p = \frac{fb - fe}{fe} \times 100$$

de la fonction f quand on remplace le noyau d'ébonite (fe) par le noyau de bois de mêmes dimensions (fb). Cette variation relative est indépendante de $\frac{g}{\delta}$, mais dépend de $\frac{h}{2r}$.

diminue, f croît et passe par un maximum pour une certaine valeur de $\frac{h}{2r}$ (entre 0,08 et 0,05), et décroît ensuite. Lorsqu'il n'y a qu'une seule spire, c'est-à-dire lorsqu'on a un circuit simple presque fermé, on trouve que la distance des extrémités peut varier de 1/2 à 2 cm, sans que f change. La longueur d'onde d'un pareil circuit est indépendante aussi du diamètre du fil.

La demi-longueur d'onde d'un fil mince courbé en forme de circonférence est 1,065 fois sa longueur, environ.

Une bobine dont la demi-longueur d'onde calculée était 22 m, a donné dans l'expérience 23 m [1].

Avec les bobines longues, on constate l'existence de vibrations supérieures, qui ne sont pas d'ailleurs les harmoniques de la vibration fondamentale.

Augmentation de la période par des capacités reliées aux extrémités de la bobine. — En reliant à l'une des extrémités d'une bobine une boule ou une plaque métallique, on allonge la période. Le nœud de potentiel se déplace du milieu de la bobine vers cette extrémité. La variation de période peut se calculer par la théorie, en fonction de la capacité additionnelle et de la capacité de la bobine par unité de longueur. La formule obtenue permet de calculer cette dernière quand on a mesuré la variation de la période. Cette variation ne peut atteindre la valeur de la période primitive.

La même expérience donne un moyen de mesurer de très petites capacités, par exemple, l'augmentation de la capacité d'un tube à gaz raréfié quand il devient luminescent.

Induction propre des bobines de fil. — Pour mesurer le coefficient d'induction propre d'une bobine, on relie ses extrémités aux armatures d'un condensateur c' de capacité invariable. Le système est associé à l'excitateur décrit ci-dessus et on fait varier la capacité du condensateur c de ce dernier, jusqu'à ce qu'il y ait résonance. La longueur d'onde de l'excitateur et par suite celle du résonateur étant connue, ainsi que la capacité du résonateur, il est facile de calculer l'induction propre de celui-ci.

La capacité du condensateur c' peut d'ailleurs se mesurer par une méthode analogue; on en fait un résonateur en le reliant à un circuit, rectangle ou cercle, dont on sait calculer le coefficient d'induction propre [1].

Le coefficient d'induction propre d'un fil est le même que le fil soit de toutes parts entouré d'air, ou qu'il soit enroulé sur un noyau; ou du moins ne dépend que fort peu du pouvoir inducteur du noyau. Il n'y a donc aucun inconvénient dans l'étude de l'induction propre, à employer un noyau de bois; le pouvoir inducteur et l'absorption électrique n'ont pas d'influence tant que $l : \lambda$ est inférieur à 0,05, ce qui est le cas dans toutes les mesures présentes. Mais il y a une correction à faire, quand le fil est enroulé sur un noyau, à cause des portions de fils parallèles qui réunissent les extrémités aux armatures du condensateur.

Le coefficient d'induction propre L d'une bobine ayant au plus 10 spires, est, pour les décharges d'un condensateur, donné par la formule :

$$\frac{L}{2l} = n\left[\left(1 + \frac{h^2}{32\,r^2}\right)\text{log nep.}\,\frac{8\,r}{\sqrt{h^2+\delta^2}} - y_1 + \frac{h^2}{16\,r^2}\,y^2\right] + \text{log nep.}\,\frac{g}{\delta} - \Delta$$

y_1 et y_2 sont des fonctions de $\frac{\delta}{h}$ dont les valeurs ont été calculées par Stefan; Δ une fonction de $\frac{g}{\delta}$ et de n, dont les valeurs sont comprises entre 1,26 et 2.

Application aux transformateurs Tesla. — La formule ci-dessus et les tableaux donnés dans le mémoire et auxquels il a été fait allusion permettent de calculer pour chaque transformateur Tesla la capacité qu'il convient d'associer au primaire.

L'auteur a vérifié sur deux transformateurs différents l'exactitude des résultats obtenus. Les condensateurs à bain de pétrole sont préférables aux bouteilles de Leyde, sans doute parce qu'il ne s'y produit pas d'aigrette. M. L.

(1) Pour mesurer cette grande longueur d'onde, il avait fallu remplacer dans le condensateur le pétrole par de l'eau distillée.

(1) Il n'est pas nécessaire que la circonférence du circuit soit parfaitement régulière. En faisant de la circonférence une ellipse d'excentricité $\frac{3}{4}$, on ne change pas $\frac{1}{2}\lambda$ de plus de 0,001 de sa valeur.

ÉLECTROCHIMIE

Usines de stérilisation d'eau par l'ozone de Wiesbaden-Schierstein et de Paderborn (1), par **G. Erlwein**, *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. VIII, p. 881, 27 novembre 1902.

Usine de Wiesbaden-Schierstein. — Livrée en août 1902 à la municipalité, cette usine est la première en Allemagne qui réalise l'emploi pratique de l'air ozonisé comme agent stérilisant et oxydant. Elle a été construite, par la maison Siemens et Halske, en vue d'une production maxima de 250 m³ par heure. Cependant la consommation maxima habituelle ne dépasse pas 125 m³ par heure ; il y a donc une réserve de 100 p. 100. L'installation est divisée en deux parties exactement semblables possédant chacune un groupe de machines, un appareil à ozone et une tour de stérilisation. En vue d'une plus grande sécurité d'exploitation, un groupe quelconque de machines peut alimenter à volonté l'une des deux parties de l'installation. De même les conduites d'air ozonisé d'une des parties peuvent alimenter à volonté l'une des deux tours.

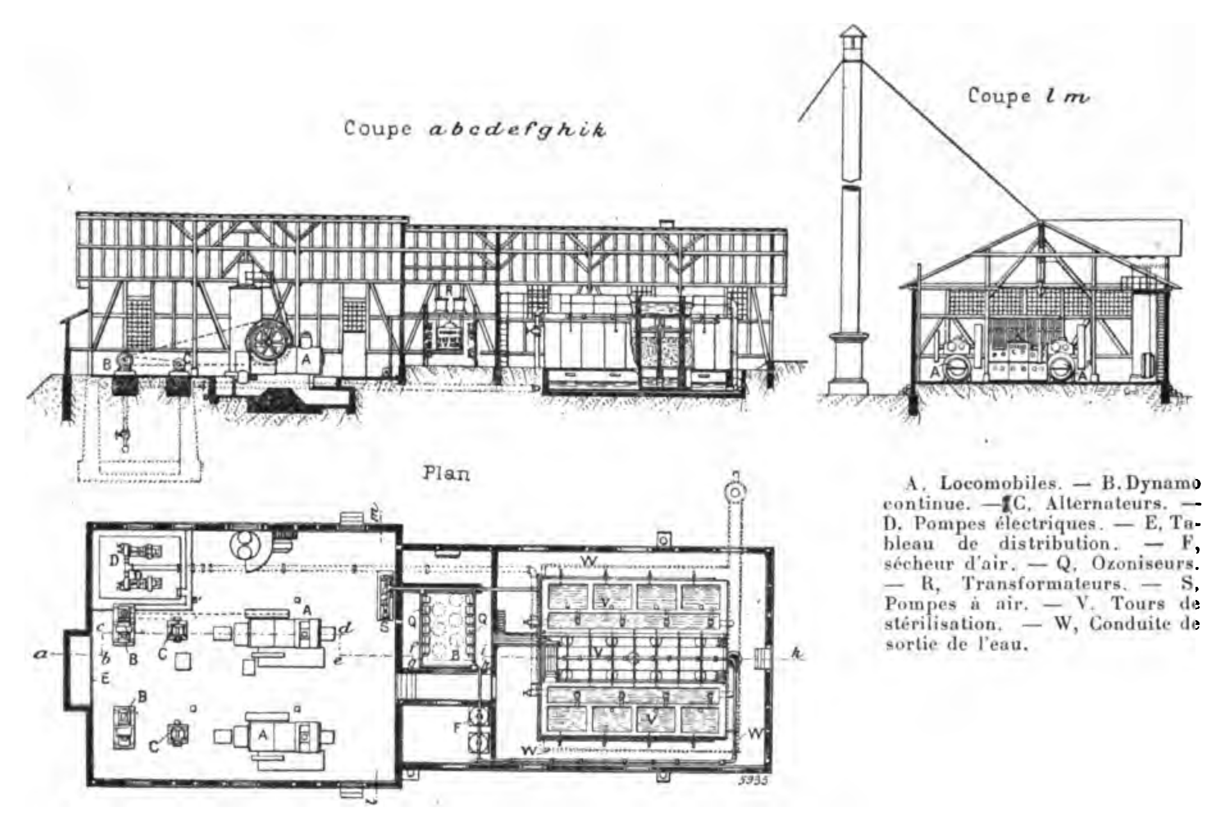


Fig. 1. — Coupes et plans de l'usine de stérilisation de Schierstein.

La salle des machines renferme deux locomobiles Wolf de 60 chevaux chacune, deux machines à courant continu et deux alternateurs ; d'autre part dans cette même salle se trouvent deux pompes centrifuges actionnées par électromoteurs et deux pompes soufflantes pour l'air des appareils à ozone. Les moteurs des pompes utilisent le courant continu ; le courant alternatif est envoyé dans des transformateurs qui élèvent la tension de 180 à 8 000 volts. La haute tension est utilisée dans les appareils à ozone dont l'air ozonisé est soufflé à travers des buses dans les tours. Dans celles-ci, l'ozone arrive par la partie inférieure et l'eau par la partie supérieure ; cet ozone se dissout en partie et exerce son action stérilisante. L'eau

(1) Pour les recherches et essais antérieurs relatifs à la stérilisation de l'eau par l'ozone, voir *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 95 ; t. XX, p. 127 et 352 ; t. XXI, p. 394 et 514 ; t. XXV, p. 326 ; t. XXXII, p. LXXIX ; t. XXXIII, p. 357.

purifiée est ensuite envoyée dans les réservoirs supérieurs.

L'usine dont les plans sont représentés en figure 1 se divise en trois parties séparées par des murs : 1° la salle des machines ; 2° la salle des transformateurs et appareils à ozone ; 3° la salle des tours de stérilisation.

La deuxième salle est à deux étages ; en bas sont disposés les 48 appareils à ozone répartis

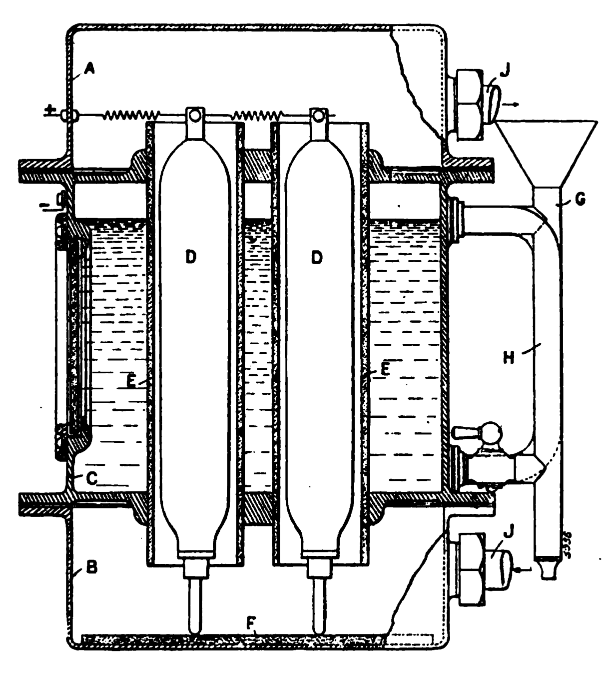


Fig. 2. — Coupe d'un appareil à ozone Siemens.

A, Couvercle. — B, Fond. — C, Partie médiane. — D, Electrode interne. — E, Cylindre de verre. — F, Plaque de verre isolante. — G, K, Entrée et sortie de l'eau de refroidissement. — J, Conduites d'air.

en deux groupes séparés par une allée. Chacun des groupes renferme 4 étages de 6 appareils. Il y a toujours 8 appareils branchés sur la haute tension, ce nombre étant nécessaire pour l'alimentation d'une tour de stérilisation. L'appareil à ozone, du type Siemens, est représenté en figure 2 : un des pôles de la haute tension est à la terre par l'eau de refroidissement ; l'autre pôle, isolé de la boîte en fonte, est en relation avec les cylindres métalliques D. Des glaces placées sur la paroi antérieure de chaque appareil permettent de voir la teinte bleue des tubes à ozone, indice d'un bon fonctionnement de l'exploitation. La mise d'un des pôles à la terre permet de pouvoir toucher aux appareils sans aucun danger.

Dans la troisième salle se trouvent deux séries de tours séparées par de la maçonnerie et composées chacune de 4 tours dont l'une est toujours en réserve. Chacune de ces tours est divisée en 4 puits par deux cloisons transversales ; ces 4 parties sont alimentées d'eau ordinaire par un bassin unique (voir fig. 3). Les tours ont environ 4 m de hauteur ; elles sont remplies, sur une hauteur de 2 m, de gravier

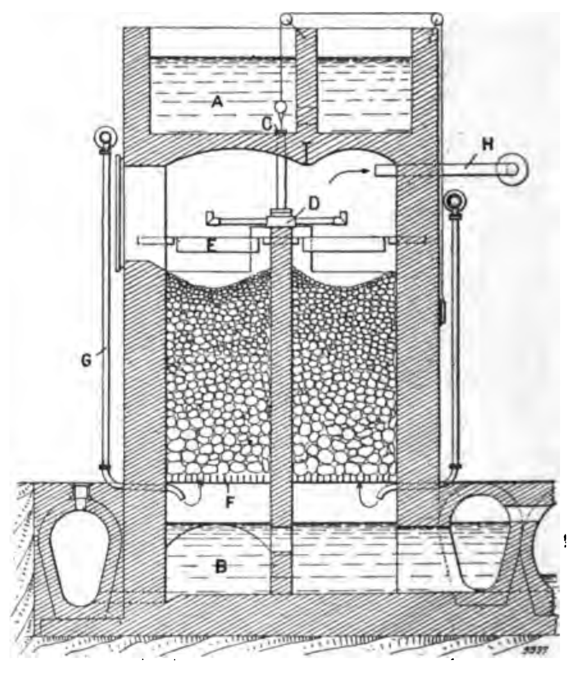


Fig. 3. — Tours de stérilisation.

A, Réservoir d'eau ordinaire. — B, Réservoir d'eau stérilisée. — C, Soupape d'obturation. — D, Distributeur d'eau. E, Tamis. — F, Grilles. — G, H, Arrivée et départ de l'air ozonisé.

grossier qui divise l'eau qui s'écoule. La soupape C d'introduction d'eau se ferme automatiquement et électriquement dès qu'il survient un accident aux appareils à ozone. Dans chacune des tours à 4 compartiments, il coule 42 m³ d'eau par heure et il passe en sens contraire 80 m³ d'air. A la partie inférieure l'eau purifiée se réunit dans un bassin par tour ; de ce bassin l'eau est envoyée à l'aide des pompes dans un réservoir supérieur.

Afin de prévenir les troubles dans l'exploitation, troubles pouvant survenir soit par suite d'arrêt du courant dans les appareils électriques soit par suite d'arrêt de l'air dans les tours de stérilisation, on a prévu des dispositifs qui

agissent de façon à fermer dans chaque cas la soupape d'introduction d'eau. Cette fermeture est effectuée par un levier à électro-aimant qui agit dès que le courant cesse. D'autre part, s'il survient un accident aux pompes soufflantes d'air ozonisé, une soupape qui, en exploitation normale reste levée, s'abaisse et ferme ainsi un circuit dérivé qui commande la fermeture de la soupape d'introduction d'eau dans les tours. Dans les deux cas, une sonnerie est mise en action. Il ne peut y avoir ainsi passage d'eau non stérilisée.

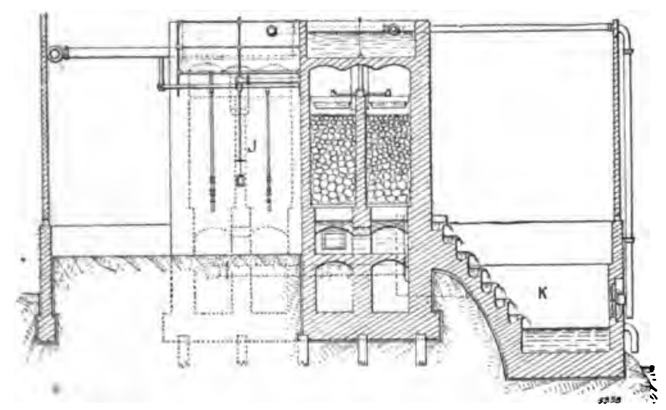


Fig. 4. — Tours de stérilisation de l'usine de Paderborn.

Pour la moitié de l'installation, correspondant à une production de 125 m³ d'eau à l'heure, la puissance nécessaire est de 50 chevaux, dont 27 pour les appareils à ozone et 22 pour les pompes électriques (aspiration 6 m, élévation 12 m). Le reste est utilisé par la pompe soufflante, la pompe d'eau d'alimentation des chaudières et par la purification de cette eau d'alimentation.

En comptant le charbon à 20 marks la tonne, le prix de revient, pour une production de 250 m³ à l'heure, est de 1,4 pfennig par mètre cube d'eau, dont 0,4 pfennig pour la production d'ozone. A cette valeur il convient d'ajouter 4 p. 100 d'intérêt et 3 à 10 p. 100 d'amortissement, soit 0,6 pfennig. Au point de vue de la stérilisation, de nombreux essais ont montré que l'eau ainsi traitée est débarrassée de toutes les espèces pathogènes de bactéries et qu'il ne reste que quelques bactéries inoffensives.

Usine de Paderborn. — Cette usine a été mise en exploitation un mois après la précédente. La partie relative à la stérilisation est exactement semblable. Comme disposition spéciale, l'eau qui à la sortie des tours renferme encore des traces d'ozone dissous, tombe en cascade (voir fig. 4) et perd ainsi son ozone par l'aération. La production est ici de 50 à 60 m³ d'eau à l'heure. On utilise 9 appareils à ozone (dont 3 de réserve) du même type que ci-dessus ; il y a 2 tours de stérilisation à 4 compartiments. Un moteur à gaz alimente les dynamos (courant continu et courant alternatif) et deux pompes soufflantes ; il existe en outre 3 transformateurs. Ici le prix de revient de l'énergie est supérieur à celui de Wiesbaden ; mais en revanche, on consomme moins d'ozone pour la stérilisation. Finalement le prix de revient du mètre cube d'eau stérilisée est de 1,6 pfennig, intérêt et amortissement compris.

Avec ces deux installations le procédé de purification par l'ozone est enfin sorti du domaine du laboratoire pour entrer dans celui de la pratique.

L. J.

MESURES

Sur la mesure des différences de potentiel au moyen du téléphone, par **Franz Fischer**. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. IX, p. 18, 1er janvier 1903.

On emploie ici une méthode de compensation dans laquelle le téléphone remplace soit l'élec-

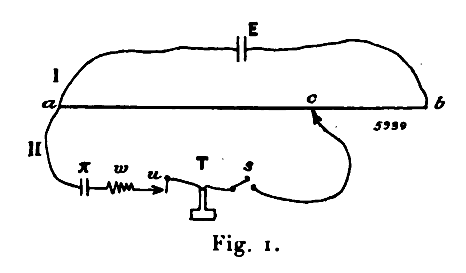


Fig. 1.

tromètre capillaire, soit le galvanomètre à miroir pour indiquer le zéro. La figure 1 montre

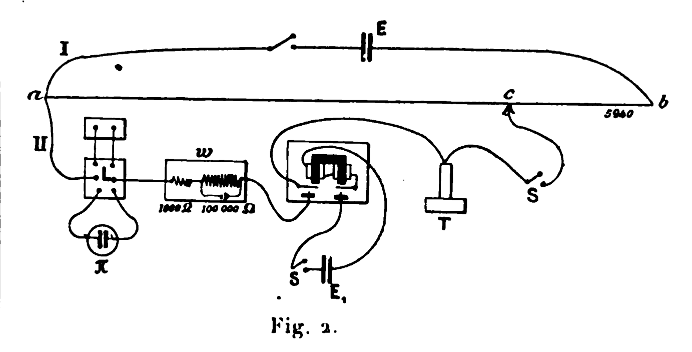


Fig. 2.

le schéma d'ensemble : E est la source de cou-

rant qui débite sur le conducteur ab. Le circuit II renferme entre le point a et le contact glissant c: 1° la différence de potentiel π à mesurer ou l'étalon ; 2° la résistance w ; 3° l'interrupteur u; 4° le téléphone T et 5° la clé s. Le trembleur u interrompt le courant environ 600 fois par seconde. Tant que la différence de potentiel II n'est pas compensée, le téléphone vibre.

La figure 2 indique les détails du circuit II. Le basculeur L permet d'introduire dans le circuit, soit un élément normal Weston, soit la différence de potentiel à mesurer. Comme élément normal, on doit recommander l'emploi d'un gros type qui peut sans dommage débiter un peu. Comme résistances servent deux bobines, l'une de 1 000 et l'autre de 100 000 ohms ; cette dernière peut être mise en court-circuit.

L'interruption du courant se fait entre un ressort en acier muni d'un contact en platine et une vis également munie d'une pointe en platine ; l'interrupteur électromagnétique a la forme indiquée en figure 3. L'électro-aimant, semblable à ceux des sonneries, est fixé sur une planchette en bois. Devant ses pôles se trouvent les ressorts en acier vissés aux bornes p_1 et p_2 en laiton. Ces ressorts ont environ 0,1 mm d'épaisseur et ils sont encore amincis dans le voisinage des bornes ; leur largeur est de 3,5 mm et leur longueur 12 mm. Le courant d'un accumulateur arrive par la borne d, traverse les deux bobines de l'électro-aimant et revient à la borne f par la vis S_1 et le contact en platine. Par un réglage convenable de la vis, le ressort vibre et effectue environ 600 interruptions par seconde.

Le ressort r_2 vibre exactement comme r_1 et produit par conséquent le même nombre d'interruptions dans le circuit du téléphone.

Comme téléphone on peut employer ceux dont on se sert dans la méthode de Kohlrausch ; on utilisait ici un téléphone dont la bobine avait une résistance de 100 ohms. L'auteur rappelle que la sensibilité de la méthode est telle que Wien a constaté que l'oreille perçoit encore un son lorsque l'intensité dans les téléphones Siemens I et II n'est que de $1,5\ 10^{-8}$ ampère et $0,8\ 10^{-8}$ ampère respectivement, pour un nombre de vibrations de 720 par seconde.

Pour faire la mesure, on ferme le circuit $aEbca$ et on attend un quart d'heure pour être sûr que la chute de tension est constante sur le fil de laiton. Avec le basculeur L on place d'abord l'élément Weston dans le circuit II encore ouvert, de telle façon que les deux pôles de même nom, de la source et de l'élément Weston, se touchent en a. On introduit dans ce circuit II 100 000 + 1 000 ohms, puis on place le contact glissant au milieu du conducteur (à la division 500, si celui-ci possède 1 000 divisions) ; enfin après mise en activité de l'interrupteur, on ferme la clef S. Le téléphone vibre ; on le déplace et on cherche le zéro ; on le trouve, par exemple, compris entre les divisions

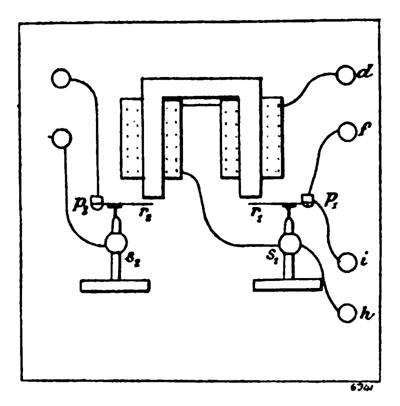


Fig. 3.

502 et 518. Comme la sensibilité n'est pas assez grande pour apprécier entre ces limites, on met alors le contact glissant au milieu de ces positions extrêmes, soit à la division 510, puis on recommence l'opération après avoir mis en court-circuit la bobine de 100 000 ohms ; la sensibilité est augmentée et le minimum cherché est trouvé entre 513,4 et 513,2 par exemple. La force électromotrice de l'élément Weston, 1,019 volt, correspond donc à 513,3 divisions dans ce cas.

En remplaçant l'élément Weston par un élément Clark, l'auteur a trouvé 719,3 divisions, de sorte que la méthode donne pour la force électromotrice de ce dernier $\frac{1,0190 \cdot 719,3}{513,3} =$ 1,4280 volt à la température 19,1°C. Comme les mesures du « Reichsanstalt » donnent les valeurs 1,4278 volt à 19.1°C, on voit que la précision est très suffisante dans la plupart des cas.

Pour calculer le courant que l'on risque d'envoyer pendant la période de tâtonnement dans l'élément dont on mesure la tension, l'auteur suppose le cas où la différence de potentiel

est nulle. Comme on place le contact glissant, d'abord au milieu, la chute de tension en ce point correspond à environ 1 volt (en employant un accumulateur comme source extérieure). La résistance du circuit II étant de 101 000 ohms, c'est donc un courant de $1,01 . 10^{-5}$ ampère environ qui traversera l'élément. Cette valeur est un maximum puisqu'elle ne tient pas compte de ce fait que le courant est interrompu 600 fois par seconde et que le circuit renferme de la self-induction. Afin de tenir compte de ces considérations, l'auteur a fait l'expérience suivante : dans le circuit II il introduisait 1° à la place de la différence de potentiel π une clé de court-circuit ($\pi = 0$) ; 2° la résistance 101 000 ohms ; 3° l'interrupteur ; 4° le téléphone ; 5° la clé et enfin 6° un petit voltamètre à argent dont l'anode était en argent et la cathode en platine, l'électrolyte étant une solution de nitrate d'argent à 20 p. 100. Le contact glissant étant sur la division 500 et le téléphone vibrant, on laissait le courant passer pendant 50 heures et, après ce temps on trouvait un dépôt de 0,6 milligramme, d'argent. On en déduisait pour la valeur de l'intensité moyenne du courant $0,3 . 10^{-5}$ ampère, alors que la valeur de l'intensité du courant continu aurait été de $1,01 . 10^{-5}$ ampère.

Si cette intensité $0,3 . 10^{-5}$ ampère est trop grande pour l'élément considéré, on peut élever la résistance du circuit à 1 mégohm et plus.

En réalité ce courant est un maximum et on arrive très rapidement à placer le contact glissant à sa positiou définitive à 0,5 à 1 p. 100 de la longueur du fil de laiton. Dans ces conditions, l'intensité moyenne baisse alors de $0,3 . 10^{-5}$ ampère à $0,3 . 10^{-7}$ ou à $0,15 . 10^{-7}$ ampère. Si à ce moment, on diminue de 101 000 à 1 000 ohms, la résistance, l'intensité reprend les valeurs $0,3 . 10^{-5}$ ou $0,15 . 10^{-5}$ au cas où on laisse le contact glissant à la limite obtenue. Ces valeurs montrent d'ailleurs la sensibilité de l'interrupteur, les courants perceptibles $3 . 10^{-8}$ ou $1,5 . 10^{-8}$ étant très voisins des valeurs limites $1,5 . 10^{-8}$ et $0,8 . 10^{-8}$ ampère, obtenues par Wien (voir ci-dessus).

La méthode peut être appliquée également à la détermination des résistances des conducteurs de la première classe. La figure 4 indique le montage employé : W est la résistance à mesurer ; H, la résistance de comparaison ; on monte un pont de Wheattone et on place le téléphone et l'interrupteur entre d et le contact glissant c. La mesure n'est pas influencée par la self-induction ni par la capacité. La précision de la méthode est donnée par l'exemple suivant : en W on plaçait une résistance (100 ohms

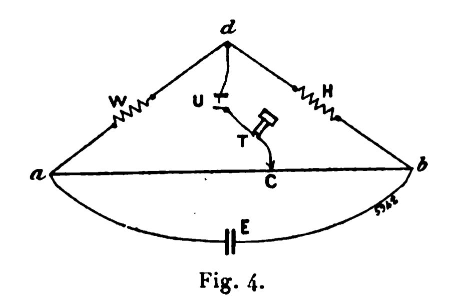


Fig. 4.

exactement) ; R était égale à 70 ohms ; le minimum était obtenu sur la division 411,7 du fil de laiton. On en déduisait $\frac{W}{70} = \frac{588,3}{411,7} =$ 100,04 ohms.

Ces recherches montrent la possibilité d'exécuter toutes les mesures électriques qu'on peut avoir à effectuer en électrochimie, par une méthode de compensation en utilisant le téléphone comme instrument de zéro. L. J.

DIVERS

La période dans l'arc électrique chantant, par Ch. Fabry. Communication de l'auteur.

Cette question a été étudiée par M. Salomonson dans un travail dont *L'Éclairage Électrique* a publié une analyse [1]. La conclusion de l'auteur est que la formule classique $n = \frac{1}{2\pi\sqrt{CL}}$ donnant la fréquence n du courant alternatif conduit à des résultats complètement erronés.

Il n'est peut-être pas inutile de faire remarquer que tous les calculs de M. Salomonson reposent sur une grossière erreur. La méthode employée est, en principe, celle-ci : La tension aux bornes de l'arc chantant est la résultante d'une tension continue et d'une tension alternative. L'auteur mesure la valeur efficace E_a de cette dernière, ainsi que la valeur efficace I_2 du courant alternatif qui traverse le circuit du condensateur. De ces données et de la valeur de la capacité, l'auteur prétend déduire la fréquence. Il raisonne pour cela comme si la force électro-

(1) Voir t. XXXIV, p. 202, 7 février 1902.

motrice E_a était appliquée aux bornes du condensateur, tandis qu'elle était appliquée aux bornes du circuit contenant le condensateur et la self-induction. Aux bornes du condensateur, la tension est bien supérieure à E_a, ce qui explique les valeurs formidablement élevées (jusqu'à 196 000 !) trouvées pour la fréquence par ce procédé inexact.

En réalité, de ces expériences on ne peut absolument rien déduire relativement à la fréquence, ni par suite infirmer en rien la formule classique.

Celle-ci semble d'ailleurs bien vérifiée par les expériences très soignées de M. Tissot [1].

Ce point étant admis, les expériences de M. Salomonson permettent seulement de conclure quelque chose sur la résistance du circuit. La formule exacte qui donne l'intensité du courant alternatif est

$$I_2 = \frac{E_a}{\sqrt{R^2 + \left(2\pi n L - \frac{1}{2\pi n C}\right)^2}}$$

Si, comme on a tout lieu de le penser, la fréquence est bien donnée par la formule classique, cette équation se réduit à

$$I_2 = \frac{E_a}{R}$$

Comme I_2 et E_a ont été mesurés, on peut calculer R. Mais ce terme n'a pas de signification simple, car il comprend la résistance de l'arc, et en dérivation sur celui-ci, la batterie d'accumulateurs et la portion correspondante du circuit. Si l'on admet, ce qui est très vraisemblable, que la plus grande partie du courant passe par l'arc, R représente la résistance de l'arc plus celle de la self-induction et des connexions. On trouve ainsi que la résistance de l'arc (autant que l'on peut la considérer comme quelque chose de défini) va en diminuant à mesure que l'on fait croître le courant continu qui l'alimente, ce qui est conforme aux résultats connus.

A ce point de vue, les expériences de M. Salomonson peuvent être considérées comme une méthode pour la mesure de la résistance d'un arc, méthode qui serait une variante d'une méthode connue dans laquelle on superpose un courant alternatif au courant continu, avec cette particularité que le courant alternatif est fourni par résonance. Cette méthode ne tranche du reste en rien les difficultés que présente la mesure et même la définition de la résistance d'un arc.

Ch. Fabry.

(1) Congrès de Montauban de l'Association française pour l'avancement des sciences, *Ecl. Elect.*, t. XXXII, p. 354, 6 septembre 1902.

Répartition du courant dans un réseau de conducteurs, par **W. Feussner**. *Drude's Annalen*, t. IX, p. 1304-1330, décembre 1902.

Les formules de Kirchhoff fournissent une solution complète du problème de la répartition du courant dans un réseau de conducteurs, mais les calculs sont longs et compliqués. Les procédés indiqués jusqu'ici ne permettent pas de reconnaître d'une manière simple quelles sont les combinaisons des résistances qu'il convient de choisir parmi le grand nombre des combinaisons possibles.

Par *réseau* on entend une réunion de fils conducteurs de forme quelconque, mais de section infiniment petite, telle qu'on puisse se rendre d'un point à l'autre du réseau en suivant les fils. On supposera qu'il n'y existe dans ce réseau aucune extrémité libre, c'est-à-dire aucun point dont en ne puisse s'éloigner que dans une seule direction : de tels réseaux sont dits fermés. De chaque point on peut se diriger dans deux directions au moins : les points dont on peut s'éloigner dans trois directions ou plus sont appelés points de bifurcation : triple, quadruple..., etc., selon le nombre des lignes qui s'y rejoignent. Les segments de fils sont toujours comptés d'un point de bifurcation au point de bifurcation immédiatement voisin.

Le réseau est dit complet quand deux points quelconques peuvent être réunis par deux chemins indépendants l'un de l'autre : dans le cas contraire il est incomplet. Un réseau incomplet est formé de deux ou plusieurs réseaux complets se touchant : certains de ces réseaux partiels peuvent se réduire à un conducteur unique. Les points où se touchent ces réseaux partiels sont appelés points de liaison.

En supprimant dans un réseau complet certains fils, on le transforme en un réseau incomplet. Les fils dont la suppression entraîne cette transformation s'appellent fils de liaison. Les fils conjugués sont les fils tels qu'en enlevant

l'un d'eux on obtienne des réseaux partiels reliés par les autres.

Les équations de Kirchhoff forment deux systèmes. Le réseau comprend n fils dont les résistances sont r_1, r_2... r_n avec m points de bifurcation et des forces électromotrices E en nombre quelconque et distribuées d'une manière quelconque ; a, b, c,... sont des nombres de la série 1... n, tels que les fils r_a, r_b... forment un circuit fermé dans le réseau.

Le premier système comprend $\mu = n - m + 1$ équations de la forme :

$$r_a i_a + r_b i_b + \ldots\ldots = E_a + E_b + \ldots\ldots$$

Le deuxième comprend $(m - 1)$ équations :

$$i_\alpha + i_\beta + \ldots\ldots = 0.$$

L'ensemble forme n équations qui définissent les n inconnues i_1, i_2..... i_n.

Ces systèmes d'équations peuvent être résolus par la méthode purement mathématique, à l'aide des déterminants. Le dénominateur commun des n inconnues est un déterminant N d'ordre n, qui est une fonction de degré μ par rapport à l'ensemble des r_1,... r_n qui chacune n'y figurent qu'au premier degré.

Mais on obtient une méthode de résolution plus simple en s'appuyant sur les lemmes suivants, empruntés à des considérations physiques.

1. Une force électromotrice de grandeur finie ne peut produire nulle part d'intensité infinie dans un réseau qui ne renferme aucun circuit fermé dont la résistance soit infiniment petite.

2. Donner à un fil une résistance infinie revient à le supprimer.

3. Donner à un fil une résistance nulle revient à confondre les deux points qu'il réunit.

4. Si le fil dont on rend infinie la résistance renferme la forme électromotrice du réseau, l'intensité devient nulle partout :

On démontre que :

Le dénominateur N correspondant à un réseau quelconque est une somme de deux termes : l'un est le produit de la résistance r_a d'un fil quelconque a du réseau par le dénominateur N_a du réseau obtenu en supprimant ce fil a ; l'autre est le dénominateur N'_a du réseau obtenu en supprimant le fil a et confondant ses deux extrémités.

En faisant usage de cette propriété, on ramène de proche en proche le calcul à celui de réseaux de plus en plus simples, sans introduire de termes inutiles.

La résistance d'un réseau complet entre deux points A et B s'obtient en divisant le dénominateur de ce réseau par le dénominateur du réseau obtenu en confondant les points A et B.

Si le réseau est incomplet, la résistance comprise entre deux points est la somme des résistances des réseaux partiels touchés par le chemin de A à B, pris chaque fois entre les points de liaison (c'est-à-dire entre un des points donnés A ou B et le point de liaison du même réseau partiel situé sur le chemin qui conduit à l'autre point donné, augmentée de la somme des résistances des fils de liaison intermédiaires.

Le dénominateur N d'un réseau complet, qui est susceptible d'être décomposé en réseaux partiels, avec ou sans fils de liaison est la somme de plusieurs termes : le premier est le produit de la somme des résistances des fils de liaison conjugués par le produit des dénominateurs des réseaux partiels : les autres sont les produits de ces mêmes dénominateurs dans lesquels on remplace chaque fois le dénominateur d'un réseau partiel par celui du même réseau dans lequel les points de liaison sont confondus.

Le numérateur de l'expression de i_k se forme comme il suit : si la force électromotrice se trouve sur le fil a, on considère tous les circuits fermés C_1, C_2, ... C_g, qui renferment à la fois les fils a et k.

On prend dans le déterminant N_a tous les termes qui ne renferment aucune des résistances des fils qui entrent dans C_1 ; on y ajoute les termes qui ne renferment aucune des résistances entrant dans C_2, et ainsi de suite pour tous les circuits C_1, C_2, ... C_g. La somme algébrique de ces termes est le numérateur de i_k. Pour obtenir le signe des différents termes, on choisit arbitrairement comme positif un sens sur le fil k ; si le sens du courant dans le circuit fermé C considéré coïncide avec celui-là, le terme correspondant est positif ; sinon, il est négatif.

Des formules ainsi obtenues, il est aisé de déduire aussi un théorème déjà énoncé par Kirchhoff : si on transporte dans la branche k d'un réseau la force électromotrice qui se trouvait dans la branche a, sans autre modification, on a en a la même intensité qu'auparavant en k.

La méthode indiquée par Maxwell et publiée



par Fleming n'est pas d'une application toujours possible. Elle suppose en effet qu'on peut étendre le réseau sur un plan sans qu'aucune des mailles ne recouvre l'autre. Or ceci n'a pas lieu toujours, par exemple dans le réseau de Wheatstone ; cependant il suffit d'une légère modification pour faire disparaître cette difficulté : mais les calculs sont plus compliqués que dans le procédé indiqué ci-dessus.

L'auteur donne un certain nombre d'exemples de calculs : en particulier il traite le cas du réseau de Wheatstone et de ses modifications, qui se rencontrent si fréquemment dans les installations de mesures (¹). M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

DEUTSCHE ELEKTROCHEMISCHE GESELLSCHAFT

Congrès de Wurzburg (¹)

Sur l'électrolyse des chlorures alcalins avec électrodes platinées, par **F. Foerster** et **E. Muller**. *Zeitschrift f. Elektrochimie*, t. VIII, p. 515 (*Suite*).

La tension initiale est relativement élevée si on emploie, comme dans l'essai 19, une anode polie ayant déjà servi à l'électrolyse du chlorure de sodium et non recuite.

Après passage de 10 ampères-heure, on observe entre les essais 16 et 17 une différence de tension de 0,82 volt, et entre les essais 18 et 19 une différence de 0,75 volt.

Après 50 ampères-heure, la différence monte à 0,92 volt dans le premier cas (essais 16 et 17). Des recherches ont montré qu'un platinage plus épais, avec forme spongieuse, n'éprouve pas d'augmentation de différence de tension avec une anode polie, tandis qu'un platinage noir gris ou gris diminue beaucoup cette différence.

Si on calcule la tension aux bornes en prenant 2,23 volts pour la tension de décomposition, et pour rI la valeur 0,094 volt, trouvée pour l'intensité 0,5 ampère, on obtient la valeur 2,324 volts, voisine de celle que donne l'emploi des électrodes platinées, tandis que de très fortes différences surviennent avec l'anode polie.

Dans tous les cas, après interruption du courant, on obtient la même valeur 2,2 volts comme tension de polarisation. Lorenz et Wehrlin n'ont trouvé pour cette dernière valeur que 0,8 volt, parce que dans leurs expériences le potentiel cathodique était déterminé par la teneur en hypochlorite, tandis qu'il se rapporte ici à l'hydrogène non dépolarisé.

Lorenz et Wehrlin n'ont pas non plus trouvé pour la tension aux bornes avec anode polie des valeurs aussi variables que dans les essais 17 et 19, parce qu'ils interrompaient le courant souvent et régulièrement pour mesurer la tension de polarisation.

Pour étudier plus à fond le phénomène, l'auteur a entrepris l'électrolyse de solutions ne dégageant pas de chlore à l'anode.

(¹) Dans les applications, on trouve aisément les règles suivantes, qui peuvent simplifier beaucoup les calculs ultérieurs :

Le dénominateur N d'un réseau avec deux points de bifurcation et p fils est la somme de toutes les combinaisons $p-1$ à $p-1$ des résistances des p fils.

Si dans un réseau les segments a, b, c, sont formés par des fils $\alpha, \beta, \gamma \ldots$, le dénominateur N de ce réseau se déduit du déterminant du réseau correspondant avec segments simples en remplaçant $a, b, c \ldots$ par les produits $a_1 \ldots a_\alpha$, $b_1 \ldots b_\beta, \ldots$ et en multipliant les termes ne contenant pas a par la somme des combinaisons $\alpha-1$ à $\alpha-1$ des a, les termes ne contenant pas b par la somme des combinaisons $\beta-1$ à $\beta-1$ des b.

Si on ajoute à un réseau connu un point de bifurcation d'ordre p, dont les fils partent de points quelconques du réseau, le déterminant N du nouveau réseau est une somme dont les termes sont les combinaisons $p-1$ à $p-1$, $p-2$ à $p-2, \ldots$ 1 à 1 des résistances des p fils nouveaux, multipliées respectivement : les combinaisons $p-1$ à $p-1$ par le déterminant N du réseau primitif et chacune des combinaisons suivantes, par le déterminant N d'un réseau obtenu en confondant dans le réseau primitif tous les points de départ des fils qui ne figurent pas dans la combinaison.

(¹) Voir *Écl. Élect.*, t. XXXIII, p. 286, 357 et 460, 22 nov., 6 et 27 déc. 1902 ; t. XXXIV, p. 24, 220 et 335, 3 janv., 9 et 28 février 1903.



La diminution de tension due au platinage de l'anode, pendant l'électrolyse de solutions d'acide sulfurique, de soude et d'iodure de potassium alcalin.

a. *Recherches sur l'électrolyse de l'acide sulfurique et de la soude.* — On sait que l'emploi d'électrodes platinées dans l'électrolyse de l'acide sulfurique donne une force contre-électromotrice moindre que par l'emploi d'électrodes polies. Ce fait a déjà été signalé, en 1847, par Poggendorff; puis, par Fromme, qui a trouvé des différences de 0,4 à 0,66 volt pour des concentrations de 1,2 à 19,6 p. 100 d'acide sulfurique, ces différences variant très peu avec l'intensité du courant. Les déterminations de l'auteur sont exprimées dans les tableaux suivants :

A) Essais avec densité de courant élevée.

Intensité, 2 ampères; $D_A = 0{,}067$ ampère par centimètre carré.

1° Electrolyte, H^2SO^4 binormal. Température, 9 à 10° C.

Essai n° 21. — *Anode platinée.*

Temps depuis le début de l'essai.	Tension aux bornes, en volts.	*p* en volts.
aussitôt après fermeture.	2,20	—
0,5 minute.	2,26	—
1 »	2,28	—
2 »	2,30	—
3 »	2,31	—
5 »	2,32	—
10 »	2,34	—
15 »	2,36	—
20 »	2,37	—
30 »	2,38	—
60 »	2,40	1,84
80 »	2,41	—
16,5 heures.	2,43	1,87

Après interruption momentanée du circuit, la tension aux bornes reprend immédiatement sa valeur antérieure.

Essai n° 22. — *Anode polie.*

Temps depuis le début de l'essai.	Tension aux bornes, en volts.	*p* en volts.
aussitôt après fermeture.	2,6	—
0,5 minute	2,7	—
1 »	2,73	—
2 »	2,76	—
3 »	2,77	—
5 »	2,79	—
15 »	2,85	—
23 »	2,87	—
30 »	2,88	—
130 »	2,88	—
230 »	2,88	1,64
—	—	—

Après interruption momentanée du circuit, la tension revient à la valeur initiale et son augmentation se fait sensiblement après le même temps que dans la période précédente.

2° Electrolyte, NaOH binormal. Température, 10 à 11° C.

Essai n° 23. — *Anode platinée.*

Temps depuis le début de l'essai.	Tension aux bornes, en volts.	*p* en volts.
aussitôt après fermeture.	2,22	—
0,5 minute	2,30	—
1 »	2,33	—
2 »	2,35	—
5 »	2,40	1,76
8 »	2,44	—
20 »	2,49	—
30 »	2,52	—
60 »	2,55	1,88
100 »	2,59	1,91
150 »	2,61	1,93

Essai n° 24. — *Anode polie.*

Temps depuis le début de l'essai.	Tension aux bornes, en volts.	*p* en volts.
aussitôt après fermeture.	2,8	—
1 minute	3,05	—
1,5 »	3,17	—
2 »	3,20	—
3 »	3,30	—
7 »	3,37	—
11 »	3,39	—
15 »	3,40	—
20 »	3,40	—
30 »	3,41	—
60 »	3,41	—

TEMPS depuis le début de l'essai.	TENSION aux bornes, en volts.	*p* EN VOLTS
240 minutes	2,645	1,96
6 heures	2,67	—
7 »	2,68	—
9 »	2,70	—
11 »	2,72	—
24 »	2,76	2,06

Après interruption momentanée du circuit, la tension aux bornes reprend immédiatement sa valeur antérieure. A la fin de cet essai, le courant était inversé pendant 0,5 minute, puis renvoyé dans le sens initial. On trouvait alors :

0,5 minute	2,28	—
1 »	2,31	—
2 »	2,35	—
3,5 »	2,38	—
6 »	2,42	—
10 »	2,44	—
15 »	2,46	1,80

TEMPS depuis le début de l'essai.	TENSION aux bornes, en volts.	*p* EN VOLTS
12,5 heures	3,39	1,65
—	—	—
—	—	—
—	—	—
—	—	—
—	—	—

Après interruption momentanée du circuit, on obtient comme valeur de la tension aux bornes 3,0 volts; cette tension monte à 3,30 volts en 0,5 minute, puis plus lentement, en quelques minutes, à sa valeur antérieure.

—	—	—
—	—	—
—	—	—
—	—	—
—	—	—
—	—	—
—	—	—

B) Essais avec densité de courant faible.
Intensité, 0,5 ampère; $D_A = 0{,}017$ ampère par centimètre carré.
1° Electrolyte H^2SO^4 binormal. Température, 9 à 10° C.

Essai n° 25. — *Anode platinée.*

TEMPS depuis le début de l'essai.	TENSION aux bornes, en volts.	*p* EN VOLTS
Aussitôt après fermeture	1,7	—
0,5 minute	1,79	—
1 »	1,80	—
2 »	1,82	—
3 »	1,84	—
4 »	1,85	—
5 »	1,86	—
15 »	1,91	—
33 »	1,94	—
39 »	1,95	1,74
70 »	1,99	1,78
2 heures	2,02	—
4 »	2,06	1,84
6 »	2,07	—
7 »	2,07	—
8 »	2,075	—
22 »	2,107	—
26 »	2,11	—
33 »	2,115	—
46 »	2,120	1,90

Après interruption momentanée du circuit, la tension revient immédiatement à sa valeur antérieure.

Essai n° 26. — *Anode polie.*

TEMPS depuis le début de l'essai.	TENSION aux bornes, en volts.	*p* EN VOLTS
aussitôt après fermeture	2,27	—
0,5 minute	2,28	—
1 »	2,30	—
2 »	2,31	—
6 »	2,33	—
10 »	2,34	—
23 »	2,36	—
33 »	2,36	—
53 »	2,37	—
80 »	2,39	—
2 heures	2,40	—
4 »	2,41	—
5 »	2,42	—
6 »	2,41	—
7 »	2,41	—
8 »	2,415	—
22,5 »	2,415	1,74
—	—	—

Après interruption momentanée du circuit, la tension revient à 2,27 volts, puis monte à 2,32 en une minute, à 2,38 en 15 minutes, à 2,39 en 32 minutes, et à 2,40 en 60 minutes.

2° Électrolyte NaOH binormal. Température, 9 à 10° C.

Essai n° 27. — *Anode platinée.*

TEMPS depuis le début de l'essai.	TENSION aux bornes, en volts.	p EN VOLTS
aussitôt après fermeture	1,8	—
0,5 minute	1,84	—
1 »	1,855	—
2,5 »	1,88	—
4 »	1,89	—
6 »	1,91	—
10 »	1,94	—
23 »	1,99	—
30 »	2,01	—
50 »	2,04	—
60 »	2,05	—
80 »	2,07	1,84
4 heures	2,13	1,90
6 »	2,15	—
21,5 »	2,225	1,98
25,5 »	2,23	—
49 »	2,265	2,0
—	—	—
—	—	—
—	—	—
—	—	—
—	—	—
—	—	—
—	—	—
—	—	—
—	—	—
—	—	—

Essai n° 28. — *Anode polie.*

TEMPS depuis le début de l'essai.	TENSION aux bornes, en volts.	p EN VOLTS
aussitôt après fermeture	2,20	—
1 minute	2,41	—
2 »	2,49	—
3 »	2,57	—
4 »	2,63	—
6 »	2,72	—
10 »	2,77	—
20 »	2,88	—
35 »	2,935	—
40 »	2,94	1,7
On refermait aussitôt après la mesure de p.		
aussitôt après fermeture	2,5	—
1 minute	2,73	—
2 »	2,80	—
4 »	2,85	—
10 »	2,88	—
20 »	2,92	—
35 »	2,93	—
60 »	2,92	—
97 »	2,91	—
120 »	2,90	—
150 »	2,90	—
5 heures	2,90	—
6 »	2,89	—
20 »	2,89	1,75

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 5 janvier 1903 (¹).

***Sur la valeur absolue des éléments magnétiques au 1er janvier 1903*, par Th. Moureaux.** *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 44.

Les observations magnétiques, à l'Observatoire du Val-Joyeux (Villepreux, Seine-et-Oise), ont été continuées, en 1902, avec les mêmes appareils et réduites d'après les mêmes méthodes qu'en 1901. Les courbes de variations, relevées régulièrement au magnétographe de M. Mascart, sont dépouillées pour chaque heure et les repères vérifiés par des mesures absolues effectuées au moins une fois par semaine. La sensibilité de chacun des trois appareils de variations est de même vérifiée par des graduations mensuelles.

Les valeurs des éléments magnétiques au 1er janvier 1903 résultent de la moyenne des observations horaires des 31 décembre 1902 et 1er janvier 1903, rapportées à des mesures absolues faites les 29, 31 décembre et 2 janvier.

La variation séculaire des différents éléments est déduite de la comparaison entre les valeurs suivantes et celles qui ont été données pour le 1er janvier 1902 (¹). On remarquera que la variation séculaire de la déclinaison, très faible déjà depuis plusieurs années, diminue encore en 1902.

Valeurs absolues et variation séculaire des éléments magnétiques à l'observatoire du Val-Joyeux.

Éléments.	Valeurs absolues au 1er janvier 1903.	Variation séculaire.
Déclinaison occidentale . .	15°7',07	— 3',28
Inclinaison.	64°55',2	— 3',0
Composante horizontale. .	0,19712	+ 0,00028
Composante verticale . . .	0,42118	— 0,00038
Composante nord.	0,19030	+ 0,00032
Composante ouest	0,05141	— 0,00011
Intensité totale.	0,46502	— 0,00023

(¹) Pour les autres communications faites à cette séance voir *L'Écl. Élect.* du 24 janvier 1903, t. XXXIV, p. 141.

(¹) *Écl. Élect.*, t. XXX, p. 150, 25 janvier 1903.

Les observations magnétiques, au Val-Joyeux, sont faites sous la direction de l'auteur par M. J. Itié, aide météorologiste.

La station est située par 0°19'23" de longitude ouest, et 48°49'16" de latitude nord.

Séance du 19 janvier 1903 (1).

Puissance bactéricide comparative de l'arc électrique au fer et de l'arc ordinaire, par **A. Chatin** et **S. Nicolau.** *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 173-175.

Les auteurs ont employé l'appareil photothérapique Broca-Chatin à charbons à âme de carbure de fer. Des plaques d'agar-agar ensemencées de cultures fraîches de différents microbes étaient exposées directement à 12 cm du foyer lumineux d'une lampe de 18 ampères sous 110 volts. Des expériences comparatives étaient faites avec un arc jaillissant entre charbons ordinaires. Le tableau suivant indique le temps nécessaire pour la stérilisation des plaques, au moyen de l'un et l'autre arc, avec divers microbes :

	Charbons au fer.	Charbons ordinaires
Staphylocoque doré, stérilisé en.	12s	4m
Pyocyanique » .	12s	3m
Coli communis » .	25s	5m
Diphtérie » .	15s	4m
Tuberculose » .	25s	3m30s
Anthracis » .	1m	4m30s

Séance du 26 janvier 1903.

Sur la déviabilité magnétique et la nature de certains rayons émis par le radium et le polonium, par **Henry Becquerel**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 199-203.

On sait que le rayonnement des corps radioactifs se compose de plusieurs sortes de rayons. Dans le rayonnement émis par le radium, une partie, fortement déviable par un champ magnétique, est identique aux rayons cathodiques. L'autre partie, réputée jusqu'ici non déviable, se compose de deux catégories, l'une formée de rayons très pénétrants, l'autre de rayons très absorbables.

Récemment, M. E. Rutherford (2) a annoncé que cette dernière partie du rayonnement du radium, qu'il appelle les rayons α, est très faiblement déviable par un champ magnétique intense, et rejetée en sens contraire de la déviation des rayons cathodiques. Ces rayons sont assimilables aux rayons canaux (*Kanalstrahlen*), observés par Goldstein dans les tubes vides traversés par des décharges électriques, assimilation déjà énoncée comme hypothèse par M. Strut et par sir W. Crookes.

Mais la méthode employée par M. Rutherford, méthode électrique relativement grossière, laisse prise à diverses objections et à un doute sur l'existence du phénomène en question si l'on n'en apportait pas d'autre preuve (1).

M. H. Becquerel s'est proposé de mettre en évidence le phénomène par une expérience plus simple et plus sûre. Il a eu recours à l'une des dispositions qu'il emploie depuis longtemps et qui permettent certaines distinctions qui n'apparaissent pas toujours quand on emploie exclusivement la méthode électrique (2).

(1) Pour les autres communications faites à cette séance, voir *L'Éclairage Électrique* du 19 janvier 1903, t. XXXIV, p 182.

(2) *Physikalische Zeitschrift*, n° 8, p. 235, 15 janvier 1903.

(1) L'une des objections résulte de la disposition expérimentale qui fait traverser des espaces laminaires par un rayonnement dont la partie cathodique est rejetée sur les parois, et les rayons secondaires qui en résultent peuvent donner lieu à des effets dans le sens observé par M. Rutherford.

(2) « L'expérience a été disposée comme il suit :

« La matière active a été placée dans une rainure linéaire creusée dans un petit bloc de plomb. Au-dessus de cette source, à une distance *a*, d'environ 1 cm, on a disposé un écran métallique formé de deux lames laissant entre elles une fente parallèle à la rainure, puis au-dessus une plaque photographique non enveloppée. Le tout est placé dans le champ d'un électro-aimant, la fente étant mise parallèlement au champ.

« Si la plaque photographique est parallèle à la fente, on observe sur celle-ci une impression d'autant plus diffuse que la plaque est plus éloignée de la fente ; la distance ne doit pas dépasser 1 ou 2 cm, en raison de l'absorption par l'air et de la diffusion des rayons étudiés. Si, pendant la pose, le champ magnétique est excité d'abord dans un sens, puis dans l'autre, on observe, en révélant l'épreuve, deux images du faisceau, ce qui montre que celui-ci a été dévié d'abord dans un sens, puis dans l'autre. Les épreuves que je présente à l'Académie montrent un écart d'environ 1 mm entre les deux images.

« Pour avoir le sens de la déviation, on peut établir d'abord dans l'électro-aimant un champ très faible qui provoque une impression dans laquelle les rayons α sont très peu déviés et sont accompagnés, d'un côté, de la trace du spectre cathodique. Cette image peut être reçue sur une moitié de la plaque, l'autre moitié étant recouverte par un écran métallique ; puis on déplace l'écran de manière à protéger la partie qui vient d'être impressionnée et on établit un champ très fort, supérieur à



Des résultats obtenus par M. Becquerel il semble bien que l'on puisse, comme l'a fait M. Rutherford, assimiler les rayons α du radium aux *Kanalstrahlen* qui transportent des charges positives avec des masses plus grandes et des vitesses moindres que celles des rayons cathodiques.

M. Becquerel a cherché également si les rayons non déviables du polonium, dont il a le premier signalé l'existence, se comportent comme les rayons α du radium. Malheureusement, les échantillons de polonium qui ont servi aux expériences de 1900 sont aujourd'hui complètement inactifs. Quelques grains d'une préparation de polonium métallique qui, après avoir possédé une activité comparable à celle du radium, est aujourd'hui notablement affaiblie, ont permis cependant de faire quelques expériences qui tendraient à indiquer pour les rayons du polonium l'existence d'une déviabilité du même ordre que celle des rayons α du radium.

10 000 unités C. G. S. Les rayons cathodiques déviés par ce champ n'atteignent plus la plaque et l'impression obtenue se compose d'une bande qui s'écarte de la première trace des rayons α du côté opposé à celui où est l'image du premier spectre cathodique. L'existence de la déviation et le sens de cette déviation sont donc tout à fait conformes au résultat des expériences de M. Rutherford.

« Si le champ est uniforme et si l'on connaît la distance a de la source à la fente ainsi que la distance b de la fente à la plaque, la mesure de la déviation donne le rayon de courbure des trajectoires des rayons déviés.

« J'ai obtenu également des résultats d'une très grande netteté en plaçant au-dessus de la fente une plaque photographique inclinée, normale au plan du faisceau non dévié, et reposant sur l'écran métallique qui constitue la fente. Avec un angle d'inclinaison de 60° à 70° de la plaque photographique sur l'écran horizontal, on obtient, en opérant avec le champ magnétique inversé, comme il a été dit plus haut, des traces qui peuvent être extrêmement fines et nettes et qui vont en divergeant depuis le point où la plaque est en contact avec la fente. Ces traces qui, dans un champ uniforme, seraient des arcs d'ellipse d'un grand rayon, sont pratiquement presque droites dans le voisinage de la fente; si le champ n'est pas uniforme, ces lignes sont déformées.

« Je présente à l'Académie plusieurs épreuves dans lesquelles ces lignes divergentes, qui ont quelques centièmes de millimètre de largeur, se prêtent très bien à des mesures assez précises.

« L'aspect de ces lignes ne semble pas montrer de dispersion sensible ou du moins de dispersion qui soit de l'ordre de grandeur de la déviation, comme cela s'observe pour les rayons cathodiques.

« Si l'on connaît assez exactement l'inclinaison de la plaque, on peut en déduire la hauteur b d'un point déterminé de la plaque au-dessus de la fente, où l'on constate une déviation déterminée, et l'on peut calculer la valeur du rayon de courbure de la trajectoire correspondante comme avec les épreuves parallèles à la fente. Cette manière d'opérer offre l'avantage de permettre de relever sur une même épreuve des déviations à diverses distances de la fente, et de contrôler la constance du champ par la constance des résultats obtenus.

« J'ai fait par ce procédé quelques mesures préliminaires avec un électro-aimant, système Weiss, dont les armatures coniques se terminaient par de petites surfaces planes de 1 cm de diamètre.

« Pour une épreuve, la distance a étant 11,1 mm, on a obtenu, à des distances au-dessus de la fente égales à 1,374 mm, 1,117 mm et 0,916 mm, des déviations de 0,0941 mm, 0,0786 mm et 0,0649 mm entre les deux faisceaux divergents. On en déduit, pour le rayon de la trajectoire circulaire, les valeurs R = 18,22 cm, 17,37 cm et 16,97 cm. Ces valeurs sont variables parce que le champ utilisé n'est pas rigoureusement uniforme. Ce champ s'étend à quelques millimètres en dehors de l'espace compris entre les parties planes qui, dans l'expérience, étaient distantes de 9,6 mm.

« On a obtenu une valeur approchée du champ par la rotation du plan de polarisation de la lumière au travers d'un petit morceau de verre à faces planes, dans une direction faisant un angle de 22° environ avec la normale du champ. On a ainsi trouvé, pour les conditions de l'expérience, et pour un courant de 8 ampères, une intensité H = 12 700 unités C. G. S.

« Le produit RH = 215 900 est plus petit que celui qui a été indiqué par M. Rutherford, mais il est cependant du même ordre de grandeur. »

Sur la radioactivité induite et sur l'émanation du radium, par **P. Curie**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 223-226.

Dans un récent travail, M. P. Curie a fait connaître les conditions de la disparition de la radioactivité induite par le radium dans une enceinte fermée que l'on soustrait à l'action du radium et que l'on maintient à la température ambiante. L'intensité du rayonnement I des parois de l'enceinte diminue en fonction du temps, suivant une loi exponentielle $I = I_0 e^{-\frac{t}{\theta}}$, θ étant égal à 4,67 × 10[5] secondes. L'intensité du rayonnement diminue de moitié en 4 jours ([1]). Dans la communication qui nous occupe il décrit quelques expériences montrant que la loi de désactivation est encore la même lorsque l'enceinte, au lieu de rester à la température ambiante, est maintenue à 450° ou à — 180° ([2]).

([1]) Voir *Écl. Élect.*, t. XXXIII, p. 351, 6 décembre 1902.

([2]) Pour le constater, on fait d'abord, à la température

Il fait ensuite les remarques suivantes sur la théorie de la radioactivité :

« On peut admettre que l'énergie qui est contenue dans l'enceinte et qui entretient l'activité des parois décroît en fonction du temps suivant une loi qui est indépendante de la température entre — 180° et + 450°. J'ai d'ailleurs montré que cette loi est également indépendante des autres conditions très variées dans lesquelles j'ai fait les expériences (nature et pression du gaz, nature des parois, etc.).

» L'énergie produite par chaque atome de radium se dissipe par rayonnement ou par conduction de proche en proche dans les corps fluides. Les expériences actuelles montrent que dans les gaz l'énergie transmise de proche en proche est emmagasinée sous une forme spéciale qui se dissipe suivant une loi exponentielle en provoquant la radioactivité des corps matériels.

» Pour expliquer les phénomènes de la radioactivité induite et la transmission de l'activité par les courants des gaz, M. Rutherford a admis que le thorium et le radium émettent une *émanation radioactive* qui provoque la radioactivité des corps sur lesquels elle vient se fixer. C'est cette émanation qui entretient l'activité induite dans une enceinte fermée activée. M. Rutherford semble croire à la nature matérielle de l'émanation et, dans l'un de ses Mémoires les plus récents [1], il considère comme vraisemblable qu'il s'agit d'un gaz de la nature de ceux du groupe de l'argon.

» Je pense qu'il n'y a pas actuellement de raisons suffisantes pour admettre l'existence d'une émanation de matière sous sa forme atomique ordinaire. Nous avons antérieurement, M. Debierne et moi, vainement cherché des raies nouvelles dans les gaz radioactifs extraits du radium. Enfin l'émanation disparaît spontanément en tube scellé. Je considère aussi comme peu vraisemblable que les effets qui accompagnent l'existence de l'émanation aient leur origine dans une transformation chimique. On ne connaît en effet aucune réaction chimique pour laquelle la vitesse de réaction soit indépendante de la température entre — 180° et + 450°.

» L'expression d'*émanation* est commode et M. Rutherford en a fait constamment usage dans ses nombreux et importants Mémoires relatifs à la radioactivité induite. J'emploierai également cette expression qui pour moi désigne *l'énergie radioactive émise par les corps radioactifs sous la forme spéciale sous laquelle elle est emmagasinée dans les gaz et dans le vide*. Cette forme spéciale d'énergie dans le cas du radium est essentiellement *caractérisée par la constante de temps* de la loi exponentielle suivant laquelle elle se dissipe. La radioactivité des parois solides constitue une autre forme de cette énergie radioactive qui se dissipe suivant une loi différente.

» On peut faire la théorie suivante de la radioactivité : le radium n'émet pas par lui-même des rayons de Becquerel, il n'émet que de l'émanation. Dans les sels de radium solides, l'émanation ne pouvant s'échapper, se transforme sur place en rayonnement de Becquerel. Pour une solution placée dans une enceinte, l'émanation se répand dans l'enceinte et provoque la radioactivité des parois, le rayonnement est extériorisé.

» Une question importante à élucider est celle de savoir quel est le support de l'énergie qui constitue l'émanation. On peut, malgré les objections faites précédemment, admettre avec M. Rutherford que le radium émet un gaz qui sert à transporter l'émanation. On peut encore attribuer ce rôle de support pour l'émanation au gaz qui existe nécessairement dans l'espace où elle est répandue ; mais il est difficile alors de comprendre pourquoi la nature du gaz, sa pression, sa température n'ont pas d'influence sur les propriétés de l'émanation. Reste une troisième hypothèse qui consiste à supposer que l'émanation n'a pas pour support la matière ordinaire, et qu'il existe des centres de condensation d'énergie situés entre les molécules du gaz et qui peuvent être entraînés avec lui. »

---

ambiante, des séries de mesures sur les tubes scellés qui se désactivent, puis on porte les tubes, pendant 3 jours, à 450° dans un four électrique. Les tubes sont ensuite ramenés à la température ambiante. On mesure leur activité et l'on trouve que la perte totale, pendant le temps de chauffe, est égale à celle que le tube aurait éprouvée, pendant le même temps, à la température ambiante.

[1] *Philosophical Magazine*, t. IV, novembre 1902, p. 566.

Le Gérant : C. NAUD.



Tome XXXIV Samedi 14 Mars 1903. 10e Année. — N° 11

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

RÉSEAU ET INSTALLATIONS DE TRAMWAYS DE GLASGOW
(ÉCOSSE)

Introduction. — La carte ci-jointe fait bien comprendre l'importance du réseau, qui comporte actuellement :

Une longueur totale de voies qu'on trouvera indiquée au plan.

Un nombre de voitures de 600.

Une puissance à l'usine de 17 000 chevaux.

Il a fallu installer 12 dépôts, remises et ateliers et, ainsi qu'on le voit, 5 postes d'alimentation répartis le mieux possible sur l'étendue du réseau.

Avant d'entrer dans la description des installations, il est essentiel de donner quelques indications sur les *études préliminaires* qui ont été si soigneusement faites par M. Parshall.

En nous reportant au rapport présenté en 1899 au conseil municipal de la ville de Glasgow par cet éminent ingénieur, nous y trouvons nettement exposées les raisons qui ont fait adopter le mode actuel d'alimentation du réseau et les dispositions générales que nous rencontrerons plus loin.

Etant donné qu'il fallait prévoir un nombre de voitures atteignant au moins 600, et une puissance distribuée d'au moins 17 000 chevaux l'auteur concluait, avec raison, à la nécessité d'installer plusieurs centres de distribution.

Etant donné que la sécurité commandait de ne se lancer dans aucune tentative hasardeuse tendant à l'application directe du courant alternatif à la traction, et de ne pas dépasser notablement la tension de 500 volts, employée d'ordinaire pour la traction à courant continu, les distances à franchir étaient relativement considérables, ainsi que le montre la carte, et l'on sait que les règlements du bureau de contrôle, ou Board of Trade d'Angleterre, sont

très sévères à l'égard des précautions à prendre pour éviter les dérivations par la terre, par les canalisations d'eau ou de gaz, et les risques d'électrolyse au détriment de ces dernières.

M. Parshall estimait qu'avec un seul point d'alimentation les dérivations de courant seraient suffisantes pour détruire au moins 50 tonnes de fer par an, et, après une étude approfondie des conditions locales, il proposait l'emploi de 5 points d'alimentation, proposition qui fut adoptée.

Restait à savoir si on alimenterait par 5 stations génératrices distinctes, ou si on leur

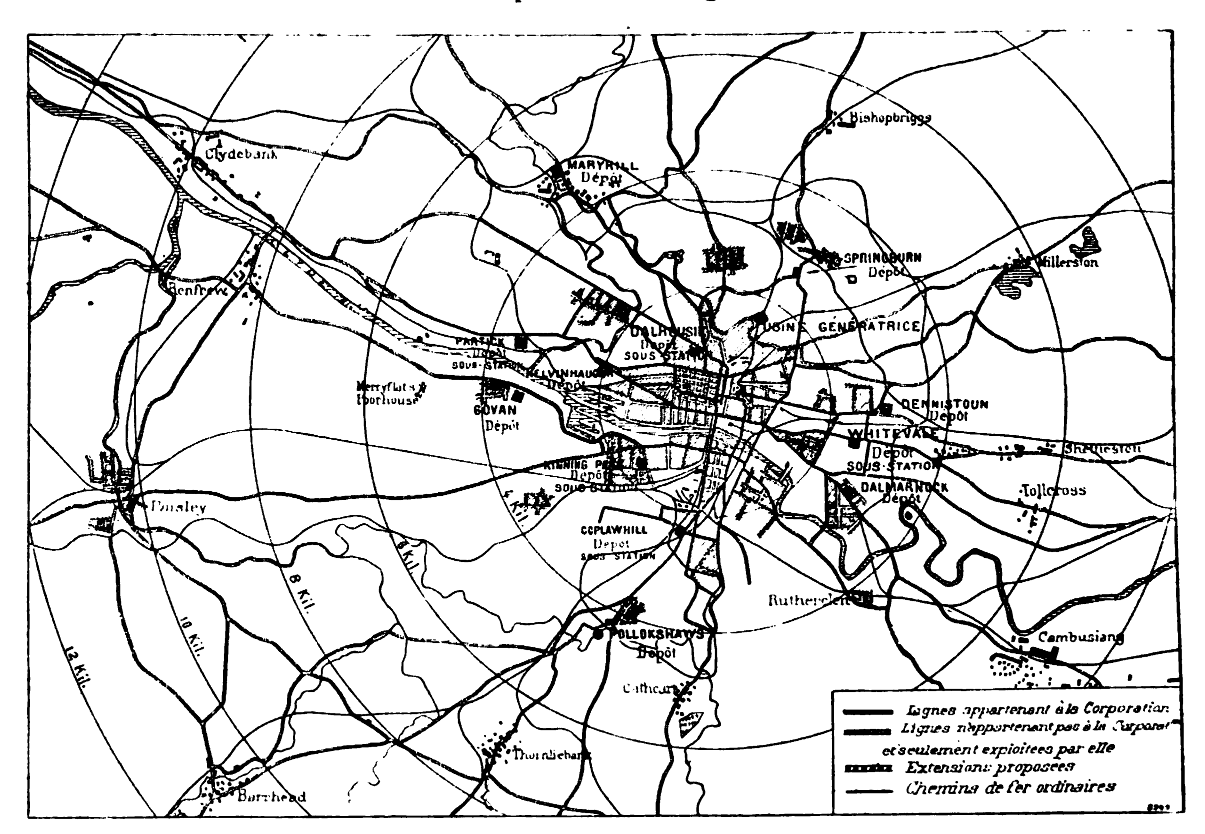


Fig. 1. — Plan du réseau de tramways de Glasgow.

préférerait des sous-stations, transformant en courant continu le courant alternatif d'une grande usine centrale.

En faveur de cette dernière solution militaient les conditions suivantes, que M. Parshall fait bien ressortir dans son rapport :

1° L'usine génératrice à haute tension et les sous-stations de transformation immobiliseront moins de capital sous forme de terrains, bâtiments à construire, machines à installer, etc.

2° En ce qui concerne maintenant l'exploitation, il sera plus facile de trouver l'emplacement favorable, au point de vue de l'alimentation en eau et charbon, pour une usine génératrice unique distribuant le courant à haute tension, que pour 5 usines génératrices à faible voltage.

3° Une seule usine génératrice et des sous-stations exigeront un personnel moins nombreux, et même moins coûteux, attendu qu'il ne sera pas nécessaire de pourvoir chaque usine d'une ou deux équipes de mécaniciens particulièrement expérimentés.



4° Les fournitures diverses et les frais de réparations seront moindres, la consommation de combustible et d'eau moindres aussi avec une usine génératrice unique, comportant de grandes unités, et mettant à profit tous les perfectionnements modernes pour le chauffage mécanique des grilles et pour les manœuvres diverses d'exploitation.

5° Enfin la flexibilité du système triphasé, représenté par une usine génératrice et un certain nombre de sous-stations, en recommande particulièrement le choix pour un réseau de la nature du réseau de Glasgow, susceptible d'extensions et de modifications éventuelles.

Pour le choix des unités l'avis de M. Parshall a été également suivi de tous points. Ainsi qu'on le verra plus loin, les machines à vapeur sont à commande directe à 3 manivelles entraînant, avec une régularité de marche assez grande, les alternateurs à inducteurs tournant à 6 600 volts, etc.

Les tableaux de distribution se prêtent facilement au sectionnement et à la marche isolée des machines, en cas de nécessité, et le matériel se prête également bien à la fourniture de courant au réseau de traction ou à l'industrie privée, pour l'énergie ou pour la lumière.

Nous ne pouvons mieux faire que de résumer ici la comparaison économique établie par M. Parshall, dans l'hypothèse d'un service quotidien de 600 voitures pendant 16 heures et de 200 voitures pendant 4 à 5 heures, avec une consommation moyenne de 7,2 kilowatts par voiture, avec une seule usine génératrice triphasée, contenant 4 unités de 2 500 kilowatts et alimentant 5 sous-stations à unités de 500 à 800 kilowatts à 600 volts, ou avec 5 usines distinctes.

1re *Solution. Usine et sous-stations.* — Les dépenses afférentes à la première solution sont résumées dans le tableau suivant, auquel il convient d'ajouter les dépenses d'entretien, de dépréciation et d'intérêts des *canalisations à haute tension*, qui s'élèvent à 0,0019 fr (1).

	USINE GÉNÉRATRICE	SOUS-STATIONS	TOTAL
Dépenses de production du kilowatt-heure.	fr.	fr.	fr.
Charbon rendu aux grilles	0,01240	»	0,01240
Eau à 0,09 fr les 1000 litres	0,00082	»	0,00082
Huile, chiffons et divers	0,00088	0,00053	0,00141
Main-d'œuvre	0,00500	0,00360	0,00860
Total des dépenses de production	0,01910	0,00413	0,02323
Dépenses d'entretien	0,00257	0,00028	0,00285
Dépenses fixes.			
Dépréciation, intérêts, assurances et imprévus	0,02081	0,00616	0,02697
	0,04248	0,01057	0,05305

En ajoutant au total de la troisième colonne les dépenses d'entretien des canalisations à haute tension, soit 0,0019 fr, on trouve le chiffre définitif : 0,05495 fr.

(1) Les chiffres ci-dessous sont empruntés au rapport de M. Parshall, sans traduction d'unités d'aucune sorte et sans autre opération que le déplacement de la virgule d'un rang vers la gauche, pour passer de l'unité de M. Parshall, la *dime* anglaise, à l'unité française environ dix fois plus grande, le franc.



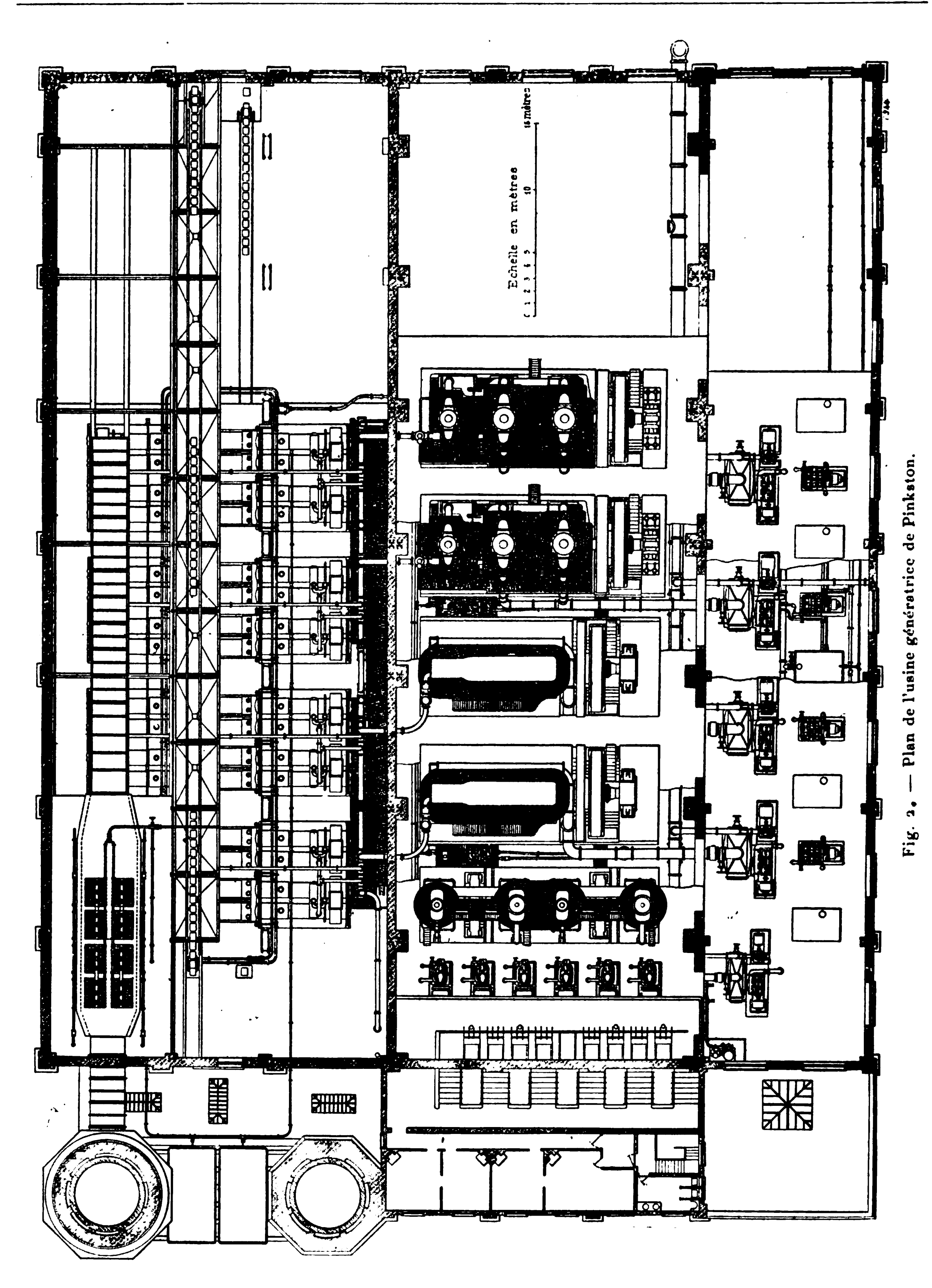


Fig. 2. — Plan de l'usine génératrice de Pinkston.

2e *Solution*. — Pour 5 usines génératrices séparées avec machines de tramways à 500 volts, le tableau des dépenses est le suivant :

Dépenses de production rapportées au kilowatt-heure.

Charbon rendu aux grilles	0,01550 fr
Eau à 0,09 les 1000 litres	0,00103 »
Huile, chiffons et divers	0,00110 »
Main-d'œuvre	0,02000 »
Total des dépenses de production	0,03763 fr
Dépenses d'entretien	0,00350 »

Dépenses fixes.

Dépréciation, intérêts, assurances et imprévus	0,03254 »
Total	0,07367 fr

A la charge de ces denières dépenses devrait encore figurer le supplément de dépenses des terrains, et les voies à construire éventuellement pour le transport du charbon et des matériaux divers. L'économie du système adopté dépasse donc 0,01872 par kilowatt-heure, chiffre qui représente seulement le minimum d'économie annuelle d'exploitation.

Dans l'hypothèse de 16 heures de service à 600 voitures et 5 heures de service à 200, pour une consommation moyenne par voiture de 7 kilowatts, on en déduit l'économie quotidienne $7\,(16 \times 600 + 5 \times 200) \times 0{,}019$ et l'économie annuelle $365 \times 7\,(16 \times 600 + 5 \times 200) \times 0{,}019 = 515\,000$ francs environ,

Généralités. — Les 5 sous-stations alimentant le réseau de tramways de Glasgow sont réparties comme l'indique la figure 1 :

La première à Coplawhill ;

La deuxième à Saint-Jame's Street (sous-station de Kinning Park),

La troisième à Hayburn Street (sous-station de Partick).

La quatrième à Dalhousie.

La cinquième à Whitevale.

Elles fournissent le courant au trôlet sous une tension de 500 volts, et reçoivent et transforment en courant continu à 500 volts le courant alternatif triphasé à 600 volts produit par l'usine génératrice.

Cette usine est située à Pinkston, au nord de Glasgow, près du canal de Forth et de Clyde et des lignes de Chemins de fer « Caledonian » et « North British ». Ce voisinage lui assure toutes les facilités nécessaires pour l'alimentation en eau et en charbon. L'un et l'autre service sont, d'ailleurs, très remarquablement assurés par une organisation absolument parfaite et tous les dispositifs de manutention, de transport de charbon, d'alimentation des chaudières, des pompes, etc.

Aucune étude ne saurait offrir plus d'intérêt que celle de ces dispositifs, et nous y reviendrons plus loin.

Données générales de l'usine. — Construite en poutres métalliques avec remplissage de briques et de terra cotta, elle couvre un espace rectangulaire de 73 m × 60 m environ, et la hauteur minima est de 26 m environ.

La figure 2 représente sa disposition générale en plan, et la figure 3 la coupe tranversale de l'usine.

Dimensions superficielles de la travée des chaudières	73 m × 24 m
» » de la salle des machines	73 m × 22 m
» » de la travée auxiliaire	73 m × 12 m



Hauteurs respectives au-dessus du sol avoisinant :

Chaufferie	21 m environ
Salle des machines	19 »
Travée auxiliaire	16 »
Nombre et dimension des cheminées : 2, dont l'emplacement est donné par la figure 2.	
Hauteur de chacune	79 m environ
Diamètre intérieur	5 »

Spécification et garantie du matériel employé pour la construction : acier présentant une résistance limite de 4 300 kg à 5 000 kg.

Limite élastique 50 p. 100 de la limite de rupture précédente.

Elongation minima : 20 p. 100 sur une longueur d'éprouvette de 200 mm.

Les rivets sont faits d'acier présentant une résistance de 4 300 à 5 000 kg environ.

Leur limite élastique est fixée à 2 200 kg environ, et l'élongation minima possible est de 25 p. 100 de la longueur.

On exigeait de toutes les plaques qu'elles puissent être courbées et repliées à froid sur elles-mêmes, sans apparence de rupture sur la face extérieure du pli.

Tous les boulons d'un diamètre supérieur à 5 cm sont en acier forgé.

Toutes les fondations sont en béton reposant sur un bon sol; on a dû quelquefois pousser les fondations jusqu'à 8,50 m environ au-dessous de la surface du sol.

Les colonnes reposent sur des blocs de granit encastrés dans le ciment des fondations.

Les poutres du toit sont assemblées par rivets et les 3 travées sont montées de manière à former un tout bien rigide.

Les poutres de la chauffrerie et de la salle des machines sont espacées de 5 m environ.

Ainsi que le représente la figure 3, la toiture de l'usine est disposée de manière à assurer un éclairage aussi parfait que possible.

Le type de construction des lanterneaux est celui qu'on désigne sous le nom de « Monitor » aux Etats-Unis ; il devient d'un emploi de plus en plus courant et la figure 2 en fait parfaitement comprendre la construction.

Les lanterneaux sont constitués par des barres de fer galvanisé de 160 mm, étagées à distance de 200 mm les unes des autres, et inclinées à 45° pour s'opposer à l'introduction de l'eau.

Nous n'insisterons pas davantage sur les caractères de la construction, qui a été étudiée et réalisée avec un très grand soin, et qu'auraient quelque intérêt à étudier de plus près ceux de nos Lecteurs qui seraient appelés à réaliser des installations du même genre.

Chaudières. — La chaufferie comporte 16 chaudières multitubulaires Babcok et Wilcox, disposées en 2 séries : elles sont groupées en 8 batteries, formant 2 rangées qui occupent chacun des grands côtés de la chaufferie.

Chaque série est complète et indépendante, et dispose de ses réservoirs et convoyeurs de charbon, de son carneau de fumée, et de son économiseur. La surface de chauffe de chaque unité est de 520 m². La grille à 3,30 m de largeur. Chaque unité peut produire 9 000 kg de vapeur à l'heure à une pression de 12 kg : cm².

Surchauffe. — Chaque chaudière est munie d'un surchauffeur Babcok et Wilcox, monté de manière à pouvoir être noyé et mis hors de service en cas de besoin. La construction de ses joints est faite en vue de permettre la libre dilatation des tubes.

Pompes d'alimentation. — Il y a 4 pompes d'alimentation à commande électrique et une à vapeur, puisant l'eau dans deux bâches de dimensions : 4,20 m × 3,60 m × 3 m, alimen-



tées au moyen de l'eau de la ville. Les pompes peuvent délivrer 40 000 litres d'eau à l'heure contre une pression de 12,6 kg par centimètre carré à 45 tours par minute. Le moteur de commande est à 500 volts, et peut développer 27 1/2 chevaux à 725 tours par minute. Il commande toutes les pompes par l'intermédiaire d'une double réduction d'engrenages.

La pompe à vapeur se compose de 2 unités indépendantes pouvant être employées isolément : on s'en sert le plus souvent de manière différente : l'échappement de l'une étant envoyé dans l'autre. Elles peuvent délivrer 80 000 litres d'eau à l'heure contre une pression

Fig. 3. — Coupe transversale de l'usine génératrice de Pinkston.

de 12,6 kg par centimètre carré, à leur vitesse normale de 12 courses de piston aller et retour par minute. Cette fréquence est susceptible d'être largement augmentée en cas de besoin.

La tuyauterie d'alimentation est composée d'une double boucle permettant l'alimentation des chaudières par les pompes électriques ou à vapeur. L'eau passe dans les économiseurs, qui élèvent sa température à 70°.

Tuyauterie de vapeur. — La *tuyauterie de vapeur est aussi simple et aussi courte que possible :* un collecteur principal de 40 cm de diamètre règne sur toute la longueur de la chaufferie. Les groupements par batterie sont assurés par une conduite de 18 cm reliant les chaudières d'une même batterie ; de cette conduite part un tuyau de 23 cm allant au col-



lecteur principal. Le collecteur principal est composé de deux sections, reliées par des coudes extensibles en acier. Du collecteur partent des tuyauteries très courtes allant aux machines : 2 de 36 cm pour les machines Allis ; 2 de 38 cm pour les machines Musgrave.

Machines a vapeur. — L'usine comporte 4 machines verticales compound à trois cylindres et à condensation, d'une puissance normale de 4 000 chevaux indiqués : 2 sont de construction américaine (C° Allis de Milwaukee), 2 de construction anglaise (Musgrave et Sons de Bolton), mais ces deux maisons se sont conformées pour toutes les dimensions générales (arbre, bâtis, paliers, etc.) aux spécifications données par M. Parshall.

Graissage des machines. — Au lieu de graisseurs isolés, l'usine est munie d'un système de graissage automatique dû à la maison Blackwell.

Le principe et l'intérêt de ce mode de graissage est d'utiliser, non la pesanteur, mais l'effet de la vapeur à haute pression.

L'ensemble de l'installation et le fonctionnement des graisseurs seront étudiés dans une note spéciale à laquelle nous renvoyons nos lecteurs pour tous détails. Nous dirons seulement que l'huile à mouvement et l'huile à cylindre sont séparément distribuées par deux batteries de pompes et deux canalisations distinctes de grand diamètre.

On a considéré que cette dernière condition était essentielle au bon fonctionnement du graissage, et on ne descend pas au-dessous de 50 mm.

La canalisation de l'huile à cylindre a un diamètre de 50 mm.

La canalisation de l'huile à mouvement, un diamètre de 76 mm.

L'ensemble est réglé pour distribuer 4 gouttes par minute.

Machines Allis. — Elles sont du type bien connu Reynolds-Corliss, à 75 tours par minute, sous une pression de 10,5 kg de vapeur.

Leurs dimensions principales sont les suivantes :

Diamètres respectifs des cylindres	1,05 m	1,57 m	1,57 m
Course		1,52 m	
Le premier et le second palier (du côté opposé à l'alternateur) mesurent.		56 cm × 91 cm	
Le troisième et le quatrième mesurent.		61 » × 91 »	
Le cinquième mesure		81 » × 1,63 m	
Le palier extérieur mesure		76 » × 1,22 »	
Le diamètre de l'arbre à la portée du volant et de l'alternateur, mesure.		92 cm	

Les boutons de manivelle ont les dimensions suivantes :

Haute pression	30 cm × 30 cm
Premier cylindre à basse pression	41 » × 30 »
Second » »	51 » × 30 »

La consommation garantie de vapeur ne dépasse pas 6 kg environ par cheval indiqué à la charge normale de 4 000 chevaux.

Le volant, qui est placé du côté basse pression des machines, pèse environ 108 à 110 tonnes et a un diamètre de 5,30 m. La jante est composée de dix parties, portant chacune un bras du volant venu de fonte avec elle. Ces bras sont assemblés au moyeu par des boulons de 9 cm de diamètre et les sections de la jante sont assujetties entre elles par des clavettes d'acier montées à chaud, comme le fait très bien comprendre la figure 4.

La section de la jante est rectangulaire et mesure 66 × 68 cm².

Le régulateur est du type centrifuge ordinaire, agissant par engrenages sur les cylindres



à haute et basse pression : il lui est encore adjoint un régulateur de sûreté qui coupe entièrement l'alimentation de vapeur au cas où la vitesse s'élèverait au delà d'une certaine limite.

Le cylindre à haute pression est seul muni d'une enveloppe de vapeur et il y a un « receiver » entre les cylindres à haute et basse pression, échauffé par des serpentins de vapeur. Tous les cylindres et enveloppes de vapeur sont couverts de calorifuge à base de magnésie et recouverts encore de tôle de fer. Le poids total des machines est d'environ 700 tonnes et l'encombrement de leurs fondations de $16 \times 7,50$ m².

Machines Musgrave. — Elles présentent beaucoup d'analogie avec les précédentes, étant comme elles à trois cylindres compound et à distribution Corliss ; leur puissance normale est de 4 000 chevaux et leur puissance maxima de 5 000.

Dimensions des cylindres.

Haute pression	1,05 m de diamètre
Basse pression : premier et dernier cylindre	1,52 »
Course commune	1,52 »
Le poids total est de	750 tonnes

La base est en cinq pièces de fonte et pèse 140 tonnes.

Les trois massifs supportant les cylindres sont composés chacun de 2 pièces de fonte pesant de 17 à 19 tonnes et fixées par 6 boulons.

L'arbre est en deux pièces, la plus considérable pesant 52 tonnes et l'autre 30 tonnes. La première, qui porte le volant, est percée d'un trou de 30 cm ; l'autre de trous de 18 et 20 cm.

Les paliers principaux sont les suivants :

2 de 56 cm	de diamètre	× 91 cm	de longueur
2 de 61 cm	»	× 91 cm	»
1 de 81 cm	»	× 1,63 m	»

1 palier extérieur de 76 cm de diamètre × 1,22 m de long.

L'alternateur et le volant sont entre les deux derniers paliers.

Les boutons de manivelle ont les dimensions suivantes :

A haute tension	36 cm	de diamètre	× 36 cm	de longueur
A basse tension	46 cm	»	× 36 cm	»
Et le plus voisin du volant	56 cm	»	× 36 cm	»

Les espaces nuisibles sont de 9 à 10 mm.

Les cylindres sont composés chacun de trois pièces de fonderie, la principale étant un simple cylindre et les deux autres rapportées au-dessus et au-dessous de la première pièce et correspondant à l'admission et à l'échappement.

La surface de frottement du piston appartient tout entière à la pièce centrale, mais le piston se projette à la partie inférieure et supérieure, de façon à réduire l'espace nuisible.

Les crosses sont en acier forgé avec glissières de fonte garnies de babbitt. Les coussinets principaux sont aussi en métal blanc et refroidis par circulation d'eau.

Nous donnons d'ailleurs ci-contre (fig. 4, 5, 6, 7 et 8) les dessins comparatifs des deux types de machines, et les dessins de construction de leurs arbres. Les manivelles sont, pour les deux types de machines, calées à 120°, et les dessins comparatifs ont été établis à même échelle.

Enfin, on vient de nous faire connaître les résultats des essais faits par le professeur



Barr sur les 4 machines en service : ils se résument dans les deux tableaux ci-joints (p. 396), dont l'examen détaillé offrira un très grand intérêt, et en offrirait encore davantage s'ils n'étaient sujets à quelques incertitudes.

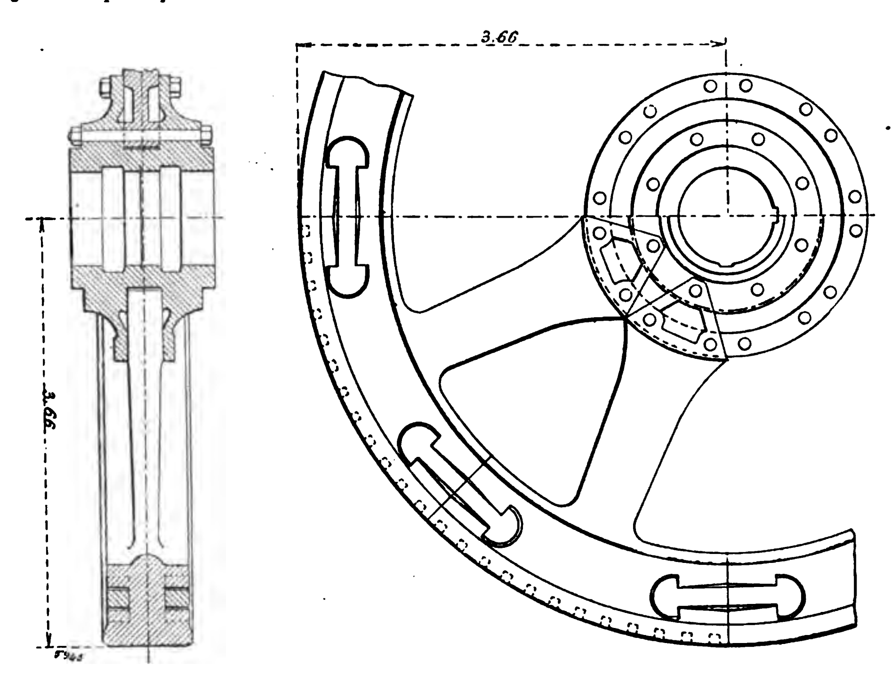


Fig. 4. — Construction du volant de la machine Allis.

Il serait à désirer qu'on pût accepter sans réserve les excellents rendements mécaniques ou rendements combinés trouvés dans ces essais ; 96 à 97 p. 100 pour les rendements mécaniques ; 92 à 90 p. 100 pour les rendements combinés.

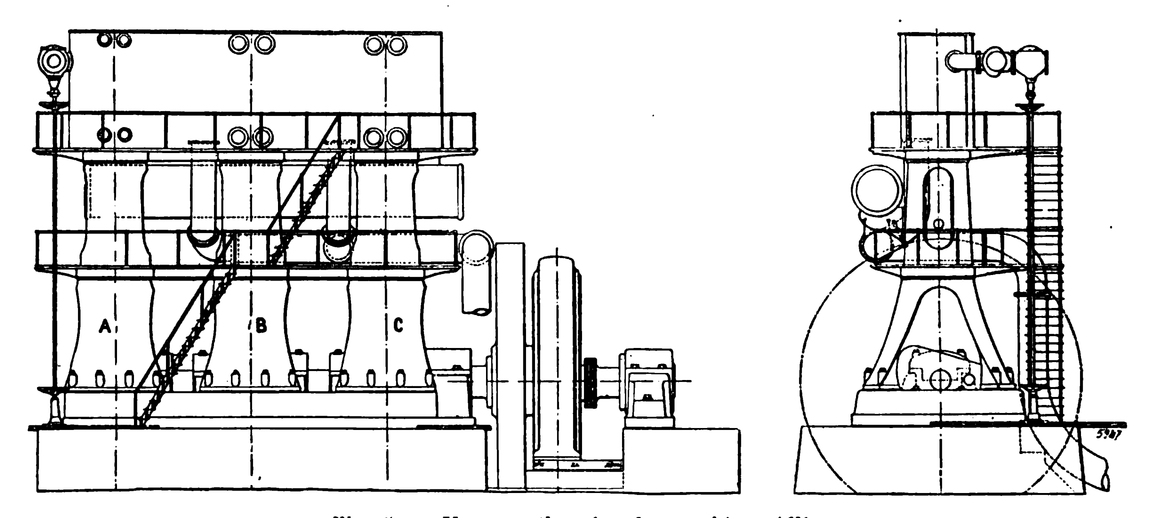


Fig. 5. — Vues en élévation des machines Allis.
A, Cylindre à haute pression. — B, Premier cylindre à basse pression. — C, Deuxième cylindre à basse pression.

Il serait à désirer aussi que les consommations de vapeur fussent déterminées dans des conditions bien précises, sans aucune omission de la nature de celles que nous avons



le regret de signaler. Par exemple, on ne sait ni la pression de vapeur, ni la température lors des essais, ni le degré de vide au condenseur, et il est impossible de savoir à quel degré de surchauffe sont dus les excellents résultats obtenus.

Enfin la consommation de vapeur à vide fait totalement défaut.

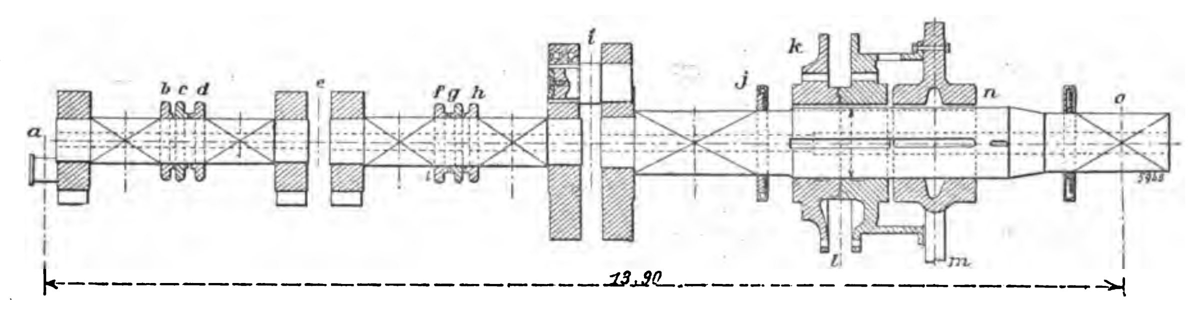


Fig. 6. — Détail de l'arbre des machines Allis.

a, Centre du cylindre à haute pression. — *b*, Excentrique d'échappement de haute pression. — *c*, Excentrique d'admission du cylindre à haute pression. — *d*, Excentrique d'échappement du premier cylindre à basse pression. — *e*, Excentrique du premier cylindre à basse pression. — *f*, Excentrique d'admission du premier cylindre à basse pression. — *g*, Excentrique d'admission du deuxième cylindre à basse pression. — *h*. Excentrique d'échappement du second cylindre à basse pression. — *i*, Centre du second cylindre à basse pression. — *j*, Régulateur à grande inertie. — *k*, Régulateur de sécurité. — *l*, Centre du volant. — *m*, Centre de l'alternateur. — *n*, Anneaux collecteurs d'excitation. — *o*, Centre du palier extrême.

Quoi qu'il en soit, nous condensons intégralement, dans les tableaux suivants, les résultats d'essais, dont il nous sera peut-être possible de préciser plus tard les conditions.

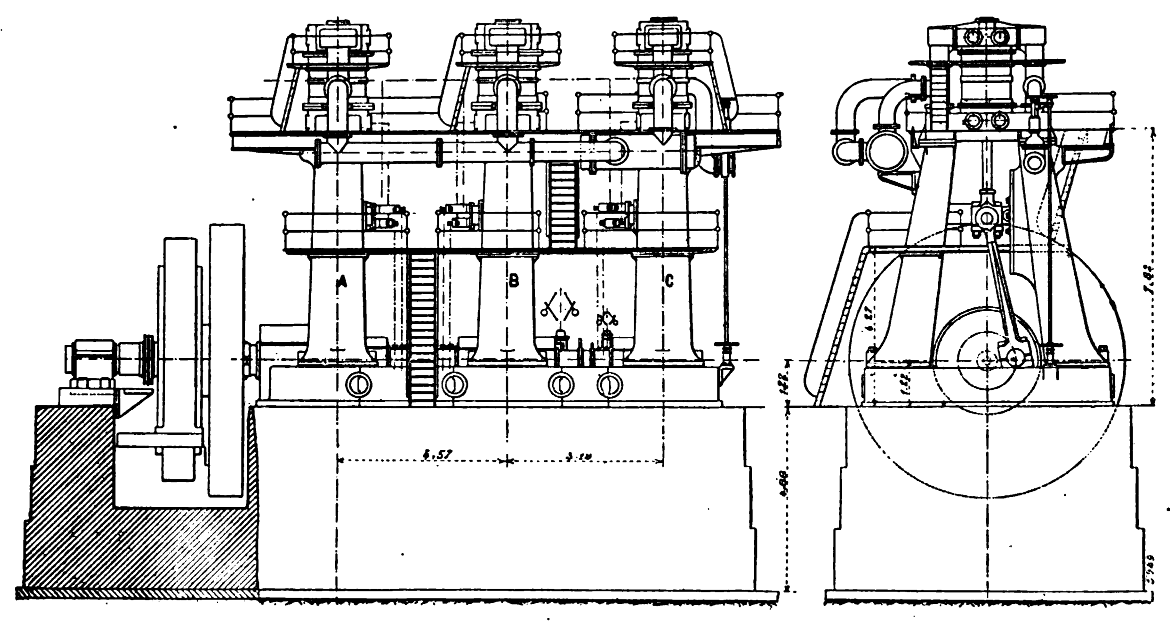


Fig. 7. — Vues en élévation des machines Musgrave.

A, Premier cylindre à basse pression. — B, Deuxième cylindre à basse pression. — C, Cylindre à haute pression.

Ils établissent dès maintenant que les machines sont tout à fait comparables au point de vue de leur fonctionnement comme de leur construction, et qu'elles possèdent une très grande économie de marche.



Essais des machines Allis, nos 1 et 2.

	MACHINE N° 1 pleine charge.	MACHINE N° 2 pleine charge.	MACHINE N° 2 demi-charge.
Date de l'essai	12 mars	14 mars	14 mars
Durée de l'essai	3 heures	2 heures 1/4	1 heure 1/2
Consommation moyenne de vapeur en kgs par heure	28 000	20 450	13 000
Puissance moyenne indiquée, en chevaux	3 630	3 630	1 980
Puissance moyenne électrique	3 350	3 330	1 800
Puissance mécanique au frein (¹) (évaluée d'après le rendement de la dynamo, supposé égal à 96 p. 100)	3 480	3 460	»
Poids de vapeur par cheval-heure indiqué	5,44	5,45	6,35
Poids de vapeur par cheval-heure électrique	5,90	5,93	6,83
Poids de vapeur par cheval-heure utile	5,46	5,89	»
Rendement combiné de la machine et de la dynamo	92,3 p. 100	91,7 p. 100	91 p. 100
Rendement mécanique, en prenant le rendement de la dynamo égal à 96 p. 100	96,2 p. 100	95,5 p. 100	»
Ecart de vitesse entre le vide et la pleine charge dans chaque sens par rapport à la moyenne	1,5 p. 100	1,6 p. 100	»

(¹) Cette indication du rapport d'essai établit bien que l'essai ne s'est pas fait au frein et qu'on a évalué (d'après les données d'ailleurs indiquées) la *puissance possible* au frein : pour ne pas créer de confusions dans la suite du tableau, nous l'appellerons *puissance mécanique utile*.

Essais des machines Musgrave, nos 3 et 4.

	MACHINE N° 3.	MACHINE N° 4.
Date de l'essai	5 juin 1902	19 juin 1902
Durée de l'essai	4 heures	3 heures
Consommation moyenne de vapeur en kilogrammes par heure	21 790	22 700
Puissance moyenne indiquée en chevaux	3 590	3 840
Puissance utile moyenne en chevaux	3 460	3 710
Puissance moyenne électrique	3 340	3 560
Poids de vapeur par cheval-heure indiqué	5,90	5,88
Poids de vapeur par cheval-heure utile	6	5,95
Poids de vapeur par cheval-heure électrique	6,38	6,33
Rendement combiné de la machine et de la dynamo	93 p. 100	93 p. 100
Rendement mécanique	96 p. 100	97 p. 100
Ecart de vitesse entre le vide et la pleine charge dans chaque sens par rapport à la moyenne	1,78 p. 100	1,43 p. 100

Alternateurs. — Il y a quatre alternateurs triphasés de 2 500 kilowatts à 25 périodes et 6 500 volts, ils sont à 40 pôles, et par conséquent leur vitesse est de 75 tours par minute.

Ils sont à inducteur tournant intérieur, l'induit fixe étant une couronne extérieure susceptible d'un déplacement parallèle à l'axe, qui permet de découvrir, pour visite ou réparations, les bobines inductrices ou induites.

La carcasse assemblant les tôles de l'induit est en acier coulé, les laminations y sont assemblées par des mortaises et présentent à l'intérieur des encoches rectangulaires recevant les bobines induites. La ventilation est obtenue comme à l'ordinaire, par le jeu d'intervalles d'air laissés libre de distance en distance entre les paquets de tôle.

L'enroulement induit est composé de bobines compactes faites à la forme, au nombre de deux par flux inducteur et par phase, et montées en étoile.



Il y a donc 120 bobines ($2 \times 20 \times 3$), et chaque bobine a 18 tours de conducteur ; celui-ci composé de câbles comprimés sous forme d'un noyau conducteur de 12,30 mm par 7 millimètres, isolé par trois couches de coton. La fixation des bobines dans les dents est faite, comme le plus souvent en Amérique, par des coins de bois supportés par les épaulements ménagés dans les encoches de l'induit.

Les projections polaires des inducteurs sont faites de tôles de haute perméabilité assemblées et assujetties sur l'intérieur de la poulie inductrice, au moyen de boulons. L'enroulement comporte 40 bobines reliées en série et supportant un voltage d'excitation de 100 volts. Chaque bobine excitatrice est composée de 43 tours de ruban de cuivre enroulé de champ : section : 0,43 cm par 4 cm.

L'excitation normale à pleine charge inductive exige un courant de 250 ampères sous 100 volts.

L'élévation de température au bout de 12 heures de marche à pleine charge ne dépasse pas 30° C. (Mesurée au thermomètre dans une partie quelconque de la machine). Les

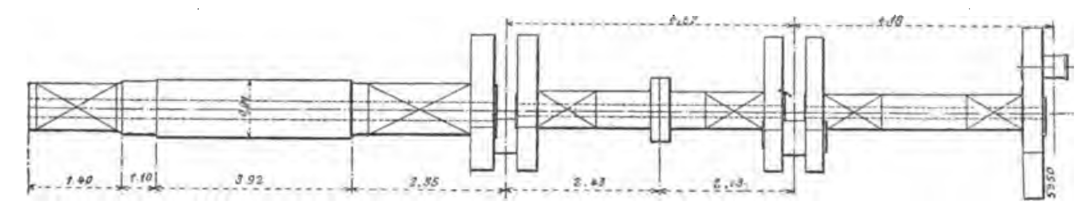


Fig. 8. — Détail de l'arbre des machines Musgrave.

machines peuvent encore supporter une surcharge de 25 p. 100 pendant deux heures et de 50 p. 100 pendant quinze minutes. Les essais ont établi que ces garanties avaient été entièrement réalisées.

Nous nous dispenserons de donner de ces générateurs des dessins qui seraient presque analogues, comme nature et dispositions, aux dessins donnés ici des générateurs Thomson-Houston de l'Exposition de 1900 et de l'usine génératrice d'Orléans ; nous nous contenterons de résumer ci-dessous leurs principales caractéristiques.

Le diamètre de la poulie portant les pièces polaires est de 4,50 m ; le diamètre intérieur de l'induit est de 5,10 m ; l'entrefer est d'environ 8 mm.

Le rayon extérieur de la carcasse de l'induit est de 3,30 m et mesure l'encombrement en hauteur de la machine, tandis que l'encombrement suivant le rayon horizontal perpendiculaire à l'arbre est de 3,65 m environ.

La machine repose sur ses fondations par deux projections de la carcasse de l'induit, ou pattes, couvrant ensemble un espace de 6,80 m^2.

La base des fondations sur lesquelles reposent ces pattes est à 2,25 m au-dessous de l'axe de la machine, de sorte que le plus grand rayon étant de 3,25 m, la différence, ou 1 m vient au-dessous du niveau supérieur de la fondation dans une fosse d'où partent d'ailleurs les connexions triphasées de la machine.

L'encombrement parallèle à l'arbre est très réduit : 1,15 m en y comprenant les flasques qui protègent les extrémités des bobines de l'induit, et environ 1,25 m en plus pour le déplacement de l'induit parallèlement à l'arbre, qui permet de procéder à la visite de l'induit ou des inducteurs.

Les rendements des alternateurs sont les suivants :

A pleine charge . . . . 96,4 p. 100

A 3/4 de charge	95,8 »
A 1/2 charge	95,4 »

en tenant compte de la consommation d'énergie pour l'excitation des machines.

Dynamos auxiliaires a courant continu. — Ce sont des génératrices à commande directe, à 10 pôles donnant 600 kilowatts à 90 tours par minute, sous une tension de 500 à 600 volts : on peut les faire fonctionner comme machines shunt ou compound :

En shunt, pour donner 500 volts à vide et à pleine charge.

En compound, pour donner 500 volts à vide et 600 volts à pleine charge.

Elles ont la forme ordinaire des machines à courant continu multipolaires : la carcasse inductrice est en fonte et présente 10 projections polaires intérieures rapportées, en acier coulé de première qualité. Les bobines sont enroulées séparément sur des carcasses en fonte malléable, et leur isolement est assuré par du coton huilé et des cloisons de bois.

L'induit a un noyau denté à encoches rectangulaires et un enroulement composé de barres de cuivre isolées dans les encoches au moyen de couches successives de canevas huilé et de papier. Le manchon de fonte entraîne les tôles formant le noyau magnétique par l'intermédiaire de clavettes, de sorte qu'aucun boulon ne traverse ce noyau.

Le collecteur est porté par une extension du manchon induit et forme un tout bien rigide et solidaire de l'induit. Ses segments collecteurs sont faits de cuivre étiré, isolé au moyen de mica blanc de haute qualité.

Après vingt-quatre heures de marche à pleine charge, le thermomètre devait ne pas accuser, pour les enroulements induits et inducteurs, plus de 30° C. et la machine devait supporter une surcharge de 25 p. 100 pendant une heure *sans décalage des balais* et sans étincelles appréciables et momentanément, 50 p. 100 de surcharge sans étincelles et sans arc de balai à balai.

On verra ci-dessous que toutes les garanties ont été réalisées avec une marge considérable de supériorité qui fait de ces machines de véritables modèles de construction. Aussi en ferons-nous connaître avec un peu plus de détails les données de construction et les résultats d'essais.

Nombre de pôles	10
Nombre de lignes de balais	10
Nombre de balais par ligne	6
Diamètre de l'induit	2,45 m
Longueur totale de l'induit	610 mm
Longueur efficace de l'induit	433 »
Vitesse périphérique de l'induit, par minute	750 m
Longueur de l'arc polaire	580 mm
Longueur de l'entrefer au centre	9 »
Longueur effective de l'entrefer	10 »
Ampèretours d'induit par pôle	8180
Dimensions des dents de l'induit	46 mm × 14 mm
Diamètre des dents de l'induit	2,20 m
Longueur active du collecteur	262 mm
Nombre de segments	810 »
Tension moyenne entre segments	7,47 volts
Fréquence de commutation	231
Dimensions des balais	31 mm × 22 mm
Ampères par centimètre carré de surface des balais	4,90

Induit. — Nature de l'enroulement. En tambour, enroulements multiples en parallèle.

Nombre de circuits dans l'enroulement d'induit	10
Nombre de spires en série par circuit	81



Nature et dimensions du conducteur, barres de cuivre	2,5 mm × 17,7 mm
Ampères par millimètre carré du conducteur	2,30
Résistance à 25° C	0,0093
Nombre d'encoches	270
Nombre de conducteurs par encoches	6

Inducteurs. — Nature de l'enroulement. Compound.

Nombre de tours par bobine de l'enroulement en dérivation	871
Nombre de tours par bobine de l'enroulement série	7 1/2
Nature du conducteur de l'enroulement en dérivation	N° 7 B.S.
Nature et dimensions du conducteur d'excitation compound	2,4 m
Nombre de conducteurs en multiple par bobine :	
Excitation shunt	1 seul circuit
Excitation série	2 circuits
Résistance totale à 25° de l'excitation shunt	27,5 ohms
» » série	0,00442
Ampèretours inducteurs pour 500 volts à vide	7 000
» » 615 »	10 900
» totaux à 600 volts à pleine charge	12 845
» d'excitation shunt, pleine charge	8 410
» » série, »	4 435
» de réaction d'induit	1 945

Les RÉSULTATS D'ESSAIS, qui indiquent l'excellente construction et les qualités de ces machines peuvent se résumer comme suit :

Rendements.

Pleine charge	95,1 p. 100
3/4 de charge	94,9 »
1/2 de charge	94 »

L'analyse des pertes dans le fer donne :

A vide, 500 volts, perte dans le fer	7 200 watts
A vide, 615 volts, perte dans le fer	11 130 »
Écart de régulation	6 1/2 p. 100

Enfin, l'échauffement et les capacités de surcharge au point de vue de la commutation et de l'échauffement, qui ont tant d'importance dans un service de cette nature, ont été l'objet d'essais faits avec beaucoup de soins.

On a maintenu la machine à plus de la pleine charge (611 volts et 100 ampères) pendant dix heures et demie.

La mesure de la résistance des enroulements avant et après a permis de constater une augmentation de 9 p. 100 de cette résistance, correspondant à une vingtaine de degrés d'élévation de température. Les mesures au thermomètre des élévations de température atteintes par les différentes parties de la machine ont été les suivantes :

Surface d'induit	14,7
Frettes	18
Segment collecteur	8,7
Bobines d'excitation shunt	16,6
Bobines d'excitation série	15,8

Les températures d'équilibre correspondant à la marche en service poussé sous 25 p. 100 de surcharge ont été les suivantes :

Surface d'induit	18,8
Frettes	21,8



Segments collecteur	12,8
Bobines d'excitation shunt	18,8
Bobines d'excitation série	17,8

Enfin, on a plusieurs fois mis sur la machine une surcharge de 75 p. 100 qu'on a supprimée brusquement sans toucher les balais, et sans observer à ceux-ci aucune étincelle.

Ces résultats sont si parfaits que nous devons nous excuser d'y avoir insisté un peu plus que nous n'avions l'intention de le faire.

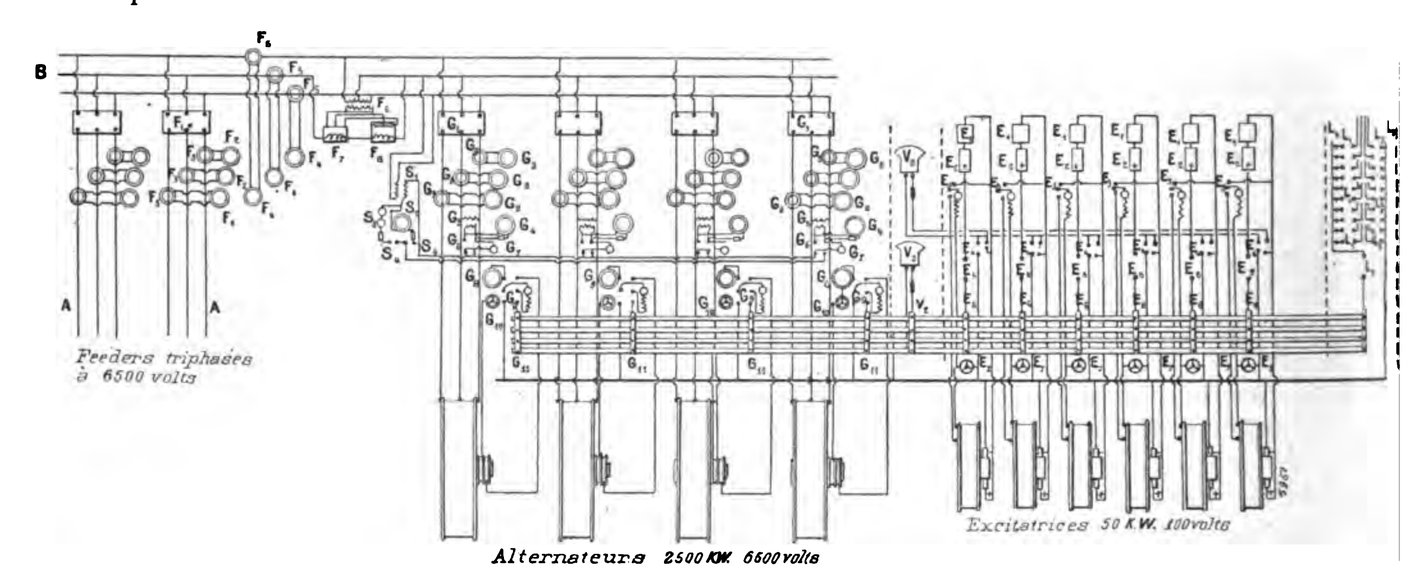


Fig. 9. — Connexions de l'usine génératrice de Pinkston. — (Feeders triphasés, alternateurs, excitatrices et circuits à 100 volts).

AA représente 2 des 20 feeders triphasés à 6 500 volts alimentant les 5 sous-stations. Il y en a 4 par sous-station. Ce sont des câbles armés à 3 conducteurs de section 93 cm². — B, Barres omnibus à 6 500 volts, section 93 cm².

Pour chaque départ de feeder vers les sous-stations : F1, Interrupteur tripolaire de ligne, 6 500 volts, 150 ampères. — F2, Ampèremètres, 0 à 150 ampères. — F3, Transformateurs pour ampèremètres, 25 périodes.

Appareils totalisateurs : F4, Ampèremètres principaux, 0 à 1 000 ampères. — F5, Transformateurs pour ampèremètres principaux, 25 périodes. — F6, Transformateur pour wattmètre et compteur. — F7, Wattmètre indicateur, 1 000 ampères, 6500 volts. — F8, Compteur, 1 000 ampères, 6 500 volts.

Appareils de synchronisation : S1, Transformateur de synchronisation, rapport 6 500 à 250. — S2, Voltmètre de synchronisation, gradué de 0 à 10 000 volts avec fusibles. — S3, Lampes de synchronisation, 250 volts. — S4, Interrupteurs de synchronisation.

Appareils d'alternateurs (induit) : G1, Interrupteur principal tripolaire, pour 250 ampères et 6 500 volts. — G2, Ampèremètres, de 0 à 400 ampères, 25 périodes. — G3, Transformateurs pour ampèremètres, 25 périodes. — G4, Voltmètre de génératrice, 0 à 10 000 volts. — G5, Transformateur de voltmètre, rapport 6 500 à 250 volts, 25 périodes. — G6, Interrupteur à fiche quadruple, pour voltmètre. — G7, Lampe signal, 250 volts.

Appareils d'alternateurs (inducteurs) : G8, Ampèremètre d'excitation, 0 a 700 ampères. — G9, Interrupteur d'excitation bipolaire, avec résistance de décharge et lampe pilote. — G10, Rhéostat d'excitation.

Appareils pour les excitatrices : G11, Barres omnibus d'excitation, section 63 mm par 19 mm. — V1, Voltmètre Weston à cadran éclairé, 0 à 150 volts, avec fusibles. — V2, Barres omnibus de voltmètre. — E1. Disjoncteur automatique à minimum. — E2, Ampèremètres Edgewise 0 à 700 ampères. — E3, Interrupteur d'excitation unipolaire, résistance de décharge et lampe. — E4, Commutateur de potentiel, à fiche quadruple. — E5, Interrupteurs principaux, 600 ampères. — E6, Barres omnibus de génératrice, section 63 mm par 19 mm. — E7, Rhéostat d'excitation.

Circuits d'éclairage locale à 100 volts : L1, Interrupteur unipolaire et fusible, 50 ampères. — L2, Interrupteur unipolaire, 50 ampères. — L3, Interrupteur unipolaire, 600 ampères. — L4, Barre omnibus positive d'éclairage, 625 mm². — L5, Barre omnibus négative d'éclairage, 625 mm². — L6, Barre omnibus d'éclairage, section 63 mm par 19 mm.

Excitatrices. — Chacune des 6 excitatrices a 6 pôles, peut donner une puissance de 50 kilowatts à 100 volts et tourne à 300 tours par minute. La carcasse inductrice est en fonte, les projections polaires en acier coulé. L'excitation en dérivation peut donner 100 volts à vide et à pleine charge. L'induit est du type denté ordinaire, le noyau n'étant traversé par aucun boulon, l'enroulement induit est fait de barres ; le collecteur est fait de même que celui des grandes machines et les échauffements et les surcharges sont les mêmes.



Tableaux de distribution (fig. 9 et 10). — Les 4 alternateurs aboutissent à 3 barres omnibus d'une section de 275 mm². De ces barres omnibus partent 20 feeders triphasés à haute tension, se rendant aux 5 sous-stations (4 feeders par sous-station).

Bien entendu des interrupteurs sont interposés de part et d'autre des barres omnibus, c'est-à-dire du côté machine et du côté feeders. Ces interrupteurs sont assez semblables aux interrupteurs à grand bras de levier Westinghouse, mais ils sont doubles, et présentent,

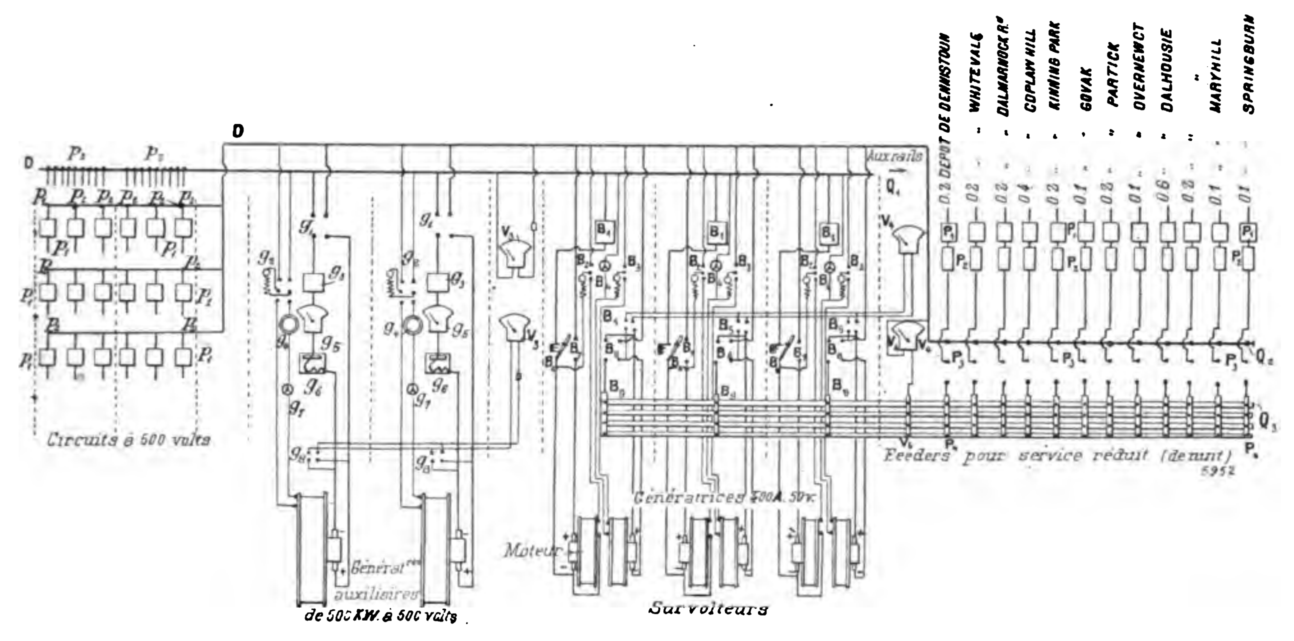


Fig. 10. — Connexions de l'usine génératrice de Pinkston. — Circuits locaux à 500 volts, génératrices auxiliaires, groupes survolteurs et feeders de traction.

D, Barres omnibus, section 76 mm par 19 mm.

Circuits locaux à 500 volts : *p*1, Disjoncteur automatique à maximum, 100 à 150 ampères. — *p*2, Terminaisons de câbles, section 15 mm². — *p*3, Barres omnibus, section 625 mm².

Génératrices auxiliaires à 500 volts : *g*1, Interrupteurs principaux de génératrice, 1 200 ampères. — *g*2, Interrupteur d'excitation bipolaire, avec résistance de décharge et lampe pilote. — *g*3, Disjoncteur automatique à maximum, 1000 à 1 500 ampères. — *g*4, Ampèremètres d'excitation de forme cylindrique, 0 à 50 ampères. — *g*5, Ampèremètres Weston, à cadran éclairé, 0 à 1 500 ampères. — *g*6, Wattmètres, 1 000 ampères, 500 volts. — *g*7, Rhéostat d'excitation et génératrices. — *g*8, Commutateur à fiche quadruple pour voltmètre. — V3, Voltmètre Weston à cadran éclairé, 0 à 150 volts, avec fusible.

Groupes survolteurs : B1, Disjoncteur automatique à maximum, 100 à 150 ampères. — B2, Interrupteur unipolaire avec résistance de décharge et lampe pilote pour moteur. — B3, Interrupteur d'excitation unipolaire avec résistance de décharge et lampe pilote pour survolteur. — B4, Rhéostat d'excitation du survolteur (génératrice). — B5, Commutateur à fiche quadruple pour voltmètre. — B6, Rhéostat de démarrage et interrupteur pour moteur. — B7, Interrupteur du moteur, unipolaire, 100 ampères. — B8, Interrupteur d'induit du survolteur, 600 ampères. — B9, Barres omnibus allant des survolteurs aux feeders, section 63 mm par 19 mm. — V4, Voltmètre Weston à cadran éclairé, 0 à 100 volts avec fusible. — V5, Barres omnibus de voltmètre.

Feeders pour l'alimentation du réseau par les groupes auxiliaires et survolteurs : P1, Disjoncteur automatique à maximum, 500 à 800 ampères. — P2, Ampèremètres Edgewise, 0 à 400 ampères. — P3, Interrupteurs unipolaires à deux directions, 400 ampères. — P4, Barres omnibus des feeders, 63 mm par 19 mm de section. — Q1, Barre omnibus négative, directement reliée à la voie. — Q2, Barre omnibus, non survoltée. — Q3, Barre omnibus, survoltée.

pour chaque rupture, un levier oscillant de chaque côté du tableau, ils ont été étudiés par M. Parshall.

Les excitatrices peuvent être mises en parallèle sur les barres omnibus d'excitation (section : 7,5 cm par 2 cm) ou sur les barres omnibus d'éclairage. Les connexions des dynamos à courant continu sont analogues à celles des alternateurs.

Le tableau principal de distribution comporte :

4 panneaux de génératrices.



4 panneaux d'interconnexion.

6 panneaux d'excitation.

20 panneaux de feeders.

et, grâce aux panneaux d'interconnexion, qui sont destinés à porter les interrupteurs côté machine dont il est parlé plus haut, on peut alimenter les feeders par des *alternateurs en parallèle* ou *par des alternateurs marchant séparément.*

Nous allons examiner la composition de chacun des types de panneaux.

Panneaux d'alternateurs. — Chacun d'eux comporte :

1 interrupteur tripolaire à haute tension pour 250 ampères à 6500 volts.

3 ampèremètres, c'est-à-dire un par phase, de 0 à 400 ampères, à 25 périodes.

3 transformateurs correspondants, car les ampèremètres ne sont pas montés directement sur les conducteurs à haute tension, et leur carcasse est même reliée à la terre, ainsi que la plupart des appareils du tableau, pour éviter les accidents.

1 voltmètre de 0 à 7500 volts, à 25 périodes, et son transformateur de 6500 à 110 volts.

1 disjoncteur automatique.

2 wattmètres indicateurs monophasés.

1 compteur triphasé.

1 commutateur de voltmètre,

1 ampèremètre d'excitation de 0 à 700 ampères.

1 interrupteur d'excitation bipolaire à 2 directions avec résistance de décharge et lampe pilote.

1 rhéostat d'excitation.

Les panneaux d'interconnexion séparent les panneaux de génératrices, dans le but sur lequel nous avons déjà insisté.

Les panneaux d'excitatrices comportent les appareils suivants :

1 disjoncteur automatique à minimum.

1 ampèremètre de 0 à 700 ampères.

1 interrupteur principal bipolaire à 2 directions.

1 interrupteur d'excitation bipolaire à 2 directions avec résistance de décharge et lampe pilote.

1 jeu de fiches à 4 trous pour le voltmètre.

1 rhéostat d'excitation.

1 lampe pilote.

Un voltmètre est affecté aux barres omnibus d'excitation ou d'éclairage et l'interrupteur à 2 directions, aussi bien que son voltmètre, est porté par un panneau spécial : Ce même panneau porte encore un voltmètre, qui permet de lire le voltage individuel des excitatrices, au moyen d'un jeu de fiches sur les panneaux d'excitatrices.

Les panneaux de feeders triphasés sont aménagés dans une galerie spéciale derrière le tableau, et au même niveau que lui. Il y a 20 panneaux arrangés par groupes de quatre commandant les 4 feeders de chaque sous-station.

Leur alimentation étant faite par des sections séparées des barres omnibus principales, on peut les alimenter séparément : il suffit pour les relier de fermer les interrupteurs d'interconnexion déjà signalés.

Chaque panneau de feeder comprend :

1 interrupteur alternateur bipolaire capable de couper 150 ampères à 6500 volts.

1 disjoncteur automatique.



3 ampèremètres à transformateurs, gradués de 0 à 200 ampères et des lampes pilotes.

Enfin un TABLEAU AUXILIAIRE, placé sous la galerie portant les tableaux principaux, comporte tous les appareils de commande des génératrices à courant continu, des feeders de celles-ci, des survolteurs des circuits d'éclairage et des moteurs de l'usine.

II. TABLEAU DES DYNAMOS AUXILIAIRES DE 600 KILOWATTS. — Les panneaux des DYNAMOS AUXILIAIRES comportent :

2 interrupteurs principaux, 1 200 ampères à rupture brusque.
1 interrupteur d'excitation bipolaire avec résistance de décharge et lampe.
1 disjoncteur automatique à maximum.
1 ampèremètre d'excitation.
1 ampèremètre d'induit de 0 à 1 500 ampères.
1 rhéostat d'excitation.
1 jeu de fiches pour voltmètre.

Un panneau séparé porte les 2 voltmètres nécessaires pour lire le voltage aux barres omnibus ou aux machines isolément.

Il y a 4 PANNEAUX DE FEEDERS partant des dynamos auxiliaires et servant à alimenter les sous-stations et les dépôts après l'arrêt du service de traction et de l'usine.

Chacun de ces panneaux comporte :

3 disjoncteurs automatiques à maximum.
3 ampèremètres.
3 interrupteurs unipolaires à 2 directions.
3 panneaux commandent les 6 circuits des moteurs de l'usine.
20 circuits d'éclairage sont commandés de même.

(A suivre.) P. LETHEULE.

INFLAMMATION ÉLECTRIQUE DES MOTEURS A EXPLOSION

On se rappelle que le succès du premier moteur à gaz, ayant fonctionné régulièrement, — Moteur Lenoir, 1860, — fut dû, en grande partie, à l'emploi de l'étincelle électrique pour l'inflammation. On sait quels progrès ont fait ces moteurs depuis lors; malgré tous les perfectionnements qui y ont été apportés et malgré les nombreuses tentatives faites pour s'affranchir de l'étincelle électrique, c'est toujours ce procédé d'allumage qui semble donner les meilleurs résultats. L'automobilisme n'a pas échappé à la loi commune : tous les modes d'allumage ont été préconisés et essayés, malgré cela, la plupart des moteurs à pétrole et à alcool sont enflammés électriquement.

Aujourd'hui deux systèmes principaux se partagent le champ, ainsi que le montrait d'une manière bien nette le dernier Salon de l'automobile; ce sont : la bobine d'induction et l'étincelle de rupture du courant produit par une magnéto. Ce dernier mode, relativement nouveau dans l'automobilisme, permet la suppression des piles et accumulateurs qui sont, comme on le sait, la source d'un grand nombre d'ennuis. Il faut se rappeler que l'emploi de l'étincelle de rupture n'est pas nouveau : il y a plus de quinze ans que le système est appliqué sur les moteurs à gaz; un grand nombre de moteurs Otto ont été munis, depuis 1888, de l'inflammateur Deliège, qui n'était lui-même qu'une réminiscence d'appareils plus anciens employés pour l'inflammation des mines.



Le schéma de l'inflammation par bobine peut être représenté par la figure 1. La pile E, qui fournit l'énergie électrique, est reliée, d'une part, au primaire P de la bobine, et d'autre part, au massif M de la machine. Une *came* C, portée par l'arbre du moteur, ferme à chaque tour le circuit primaire P sur la pile, en mettant le ressort isolé R en contact avec le massif. Pendant toute la durée de ce contact la bobine fonctionne, le *trembleur* T agissant comme si la liaison avec la pile était constante. L'étincelle produite à chaque oscillation du trembleur éclate à la *bougie* B, entre un fil isolé, relié au secondaire S, et un autre fil relié au massif M de la machine. Ce système, encore très employé, est, à peu près, celui de Lenoir, et, comme nous le verrons plus loin, les principaux perfectionnements ont porté sur la *came* C, sur le *trembleur* T et sur la *bougie* B.

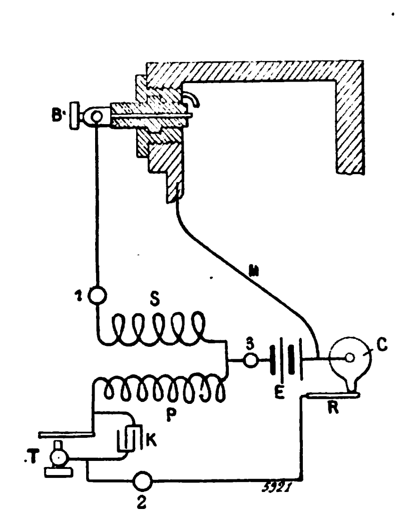


Fig. 1. — Schéma d'un dispositif d'inflammation par bobine.

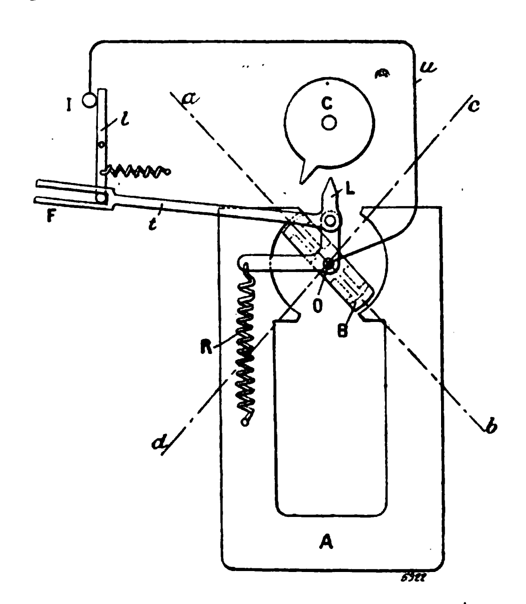


Fig. 2. — Schéma du dispositif Deliège avec magnéto.

La figure 2 donne le schéma du système Deliège pour l'inflammation par l'étincelle de rupture : une bobine induite, analogue à la bobine à double T de Siemens, est placée entre les pièces polaires d'un aimant permanent A; elle peut tourner autour d'un axe O et elle est commandée par un levier coudé L, dont la branche horizontale est rappelée par un fort ressort R. Quand la came C rencontre le levier L, elle l'écarte de sa position d'équilibre, de sorte que la bobine B passe de la position *ab* à la position *cd*. Au moment où la came C abandonne L, le ressort R rappelle brusquement le levier et ramène ainsi la bobine B en *ab*. Pendant ce mouvement rapide, un courant intense prend naissance dans la bobine B, car le circuit de celle-ci est fermé, dans l'intérieur du cylindre, par le contact entre l'inflammateur I et un petit levier *l*. Le levier *l* lui-même est commandé par une tige *t* et une fourchette F; au retour de L à sa position d'équilibre la fourchette F frappe l'extrémité inférieure du levier *l* et produit ainsi la séparation brusque de I et *l*. Comme le moment du choc a été réglé de façon à ce que la rupture se fasse au moment où le courant a son intensité maximum, une étincelle éclate entre les points de rupture et l'inflammation se produit.

Dans les systèmes actuels les modifications ont principalement porté sur la *magnéto* et sur le *système de rupture de circuit*.



ÉTINCELLE. — Quel que soit le système employé, il est indispensable que l'étincelle éclate à un point précis de la course du piston. Théoriquement, il semble que ce point devrait correspondre au *point mort* de la course, au moment où la pression est maximum dans le cylindre. En réalité, l'expérience démontre qu'il faut allumer *avant* le point mort, si l'on veut obtenir la puissance maximum. On comprend facilement cette *avance à l'allumage*, si on se rappelle que l'inflammation se propage d'une façon assez lente dans les masses gazeuses, — cette vitesse est de l'ordre de 5 mètres par seconde — par conséquent il est nécessaire d'allumer *avant*, pour obtenir la pression maximum au moment du point mort.

Certains constructeurs admettent aujourd'hui que l'avance à l'allumage est constante pour un moteur donné et ils se contentent de *retarder* l'inflammation au démarrage. Cette solution n'est applicable qu'avec les magnétos, parce que le moment où éclate l'étincelle est déterminé par la position géométrique du point de rupture ; avec les bobines on a un retard variable entre le moment où la came ferme le circuit et celui où éclate l'étincelle.

Un exemple numérique fera mieux comprendre l'intérêt de cette précision du point d'allumage. Dans un groupe électrogène, commandé par un moteur à pétrole, nous avons constaté un maximum très net de la puissance électrique disponible. Au-dessus et au-dessous de l'avance favorable la puissance tombe de 1 à 2 p. 100. Chaque cran du secteur d'avance correspond à 0,026 d'un tour complet, et comme la vitesse est de 1 575 tours par minute, un cran d'avance représente 0,001 seconde ! C'est donc à un *millième de seconde près*, que doit être réglée l'avance à l'allumage dans ce cas.

L'étincelle qui éclate dans le cylindre est différente dans les deux systèmes. Avec la bobine, l'étincelle éclate entre deux points à *distance fixe ;* il faut donc que la bobine fournisse une force électromotrice supérieure au potentiel explosif correspondant à cette distance, et on sait que le potentiel explosif croît avec la pression des gaz, ainsi qu'avec la forme et les dimensions des surfaces. Il ne semble pas que, jusqu'ici, des mesures sérieuses aient été faites sur l'influence de la pression dans les gaz comprimés. Nous avons constaté, il y a plusieurs années, que, dans l'air, sous une pression de 8 kg : cm^2, une étincelle de l'ordre du millimètre, équivalait à une étincelle de 10 à 15 mm à la pression atmosphérique. Il est certain que, dans les moteurs, un effet analogue se produit, mais atténué par la température élevée du milieu. La résistance que les inflammateurs présentent à l'étincelle n'est pas aussi grande qu'on l'a cru longtemps, puisqu'il suffit souvent de bobines extrêmement petites pour produire l'inflammation, même dans des moteurs à forte compression ; cependant, il est toujours prudent d'employer des bobines assez puissantes et bien isolées, pour parer à tous les accidents qui se présentent en pratique : dépôts d'huile sur la bougie, qui augmentent la résistance à l'étincelle ; dépôts de charbon qui forment court-circuit, etc.

Un fait intéressant, c'est que l'étincelle d'une bobine est presque toujours oscillante et de très courte période, dans les gaz comprimés.

L'étincelle de rupture se produit plus facilement, puisque, dès que le contact est rompu, la force électromotrice de self-induction devient considérable, tandis que la distance est encore faible ; c'est l'étincelle que l'on cherche à éviter à l'interrupteur des bobines qui joue ici le rôle utile. Il est nécessaire que l'énergie totale mise en jeu soit assez grande pour que la chaleur de l'étincelle ne soit pas absorbée complètement par les pièces de contact. Il semble qu'avec ce système les chances de ratés soient moindres qu'avec les bobines ; en réalité elles sont différentes : les dépôts d'huile empêchent la fermeture du circuit et les dépôts conducteurs de noir de fumée empêchent la rupture brusque.



Bobines. — Les bobines employées pour l'inflammation des moteurs sont des bobines d'induction capables de donner de 3 à 20 mm d'étincelles dans l'air; elles ne présentent rien de particulier si ce n'est qu'on a cherché à en faire des outils robustes et peu encombrants.

Pendant longtemps on s'est servi et, aujourd'hui encore, beaucoup de constructeurs placent sur ces bobines l'interrupteur classique de Neef, figure 3, plus ou moins modifié. Le dernier Salon du cycle montrait deux modèles d'interrupteurs nouveaux : celui de M. Carpentier (1900) et celui de MM. Arnoux et Guerre (1902).

Quand on examine le fonctionnement d'un interrupteur de Neef, on remarque que la lame de ressort R et la masse de fer M qui le termine forment un système vibrant, possédant une période de vibration propre bien déterminée, de sorte qu'il est très difficile de changer la fréquence des interruptions. En réglant l'écartement entre la masse de fer M et le faisceau F, on arrive bien à modifier l'*intensité moyenne* du courant et l'*amplitude* du mouvement de M, mais on modifie à peine la fréquence. Il résulte de cette circonstance qu'un semblable interrupteur s'adapte difficilement aux différentes vitesses des moteurs;

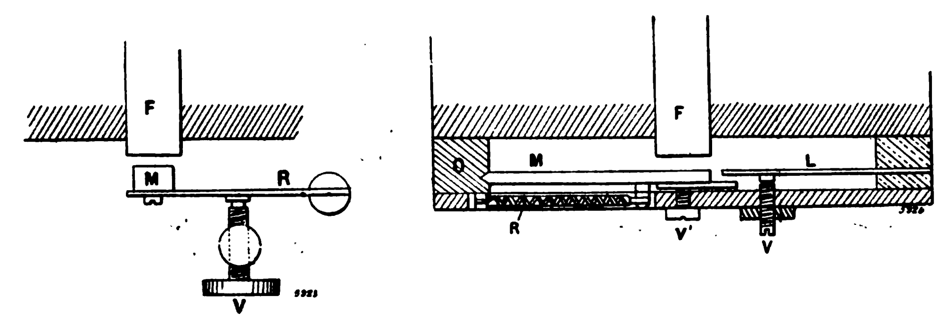


Fig. 3. — Interrupteur de Neef. Fig. 4. — Rupteur atonique Carpentier.

telle bobine, excellente pour un certain régime, donne des ratés très nombreux pour des vitesses plus faibles ou plus élevées. D'un autre côté, la rupture du circuit se fait dans de très mauvaises conditions, la séparation entre la vis V et le ressort R étant due à la flexion de ce dernier, la vitesse de rupture est petite et il se produit fréquemment des *collages* qui mettent la bobine momentanément hors de service.

Un bon interrupteur pour bobines d'inflammation doit répondre aux conditions suivantes : rompre le courant lorsque celui-ci a atteint une intensité déterminée par le réglage; la séparation des points de contact doit se faire avec une très grande vitesse; les étincelles d'extra-courant ne doivent pas amener le collage et, enfin, le système ne doit pas avoir de période propre ou cette période doit être extrêmement courte, de façon à ce que les étincelles éclatent toujours au moment précis.

Ce sont ces conditions que M. Carpentier a cherché à réaliser dans son *rupteur atonique*. La figure 4 indique, schématiquement, le fonctionnement de cet appareil. La pièce de fer M oscille autour du point O; au repos elle s'appuie sur une vis de butée V'. Un ressort R, parallèle à la pièce M exerce sur elle un effort *constant* et indépendant de la position de M, dans la limite des petits mouvements que cette pièce peut faire. Le circuit est fermé par la vis V et la lame de ressort L. Le courant étant envoyé dans la bobine, lorsque l'intensité atteint une valeur suffisante pour déterminer sur M une attraction égale à l'action du ressort R, la lame de fer M quitte sa butée V' et se rapproche du faisceau F, mais, dans ce mouvement, elle rencontre la lame L qu'elle entraîne par un choc brusque,



car, à cause de l'écart existant entre L et M, cette dernière a déjà pris une certaine vitesse au moment du choc. La rupture du circuit entre V et L se fait donc en vitesse et, en outre, si l'étincelle précédente a amené un léger collage au contact, ce collage est rompu par le choc.

Grâce à la disposition du ressort R et grâce aussi à la présence de la butée V′, la lame M n'a pas de vibration propre : elle ne peut que s'écarter dès que l'intensité convenable est atteinte et elle revient sur V′ dès que le courant cesse. La lame L est légèrement bandée par la vis V de sorte qu'elle ne peut pas vibrer.

Une bobine munie du rupteur Carpentier, mise en circuit avec une pile, prend un mouvement régulier dont la période dépend presque uniquement des *conditions électriques* du circuit. En effet, la palette M ne peut se déplacer que dès que l'intensité a atteint une valeur déterminée par le réglage du rupteur; selon la force électromotrice, la self-induction et la résistance du circuit, cette intensité est atteinte plus ou moins vite (*a* et *b*, fig. 5); la séparation de V et L se produit presque aussitôt et M revient à sa position de repos. Le ressort L peut être réglé de telle sorte que son retour au contact de V soit aussi court que possible, de sorte que le circuit se referme presque aussitôt, le temps perdu est presque nul. Pour une autre courbe d'établissement, *b*, figure 5, la rupture se produit plus tôt, mais le temps perdu est le même, de sorte que la fréquence n'augmente pas aussi vite que la force électromotrice.

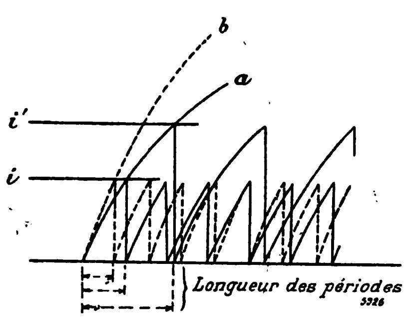


Fig. 5.

Ce rupteur présente donc cet avantage qu'au moment de la fermeture du circuit par la came, il se trouve toujours dans les mêmes conditions et que, pour un courant déterminé, l'étincelle se produit toujours au bout du même temps, de sorte qu'il suffit de régler l'*avance à l'allumage* en conséquence. Avec l'interrupteur de Neef il n'en est pas de même, surtout aux grandes vitesses; la lame continue à vibrer entre les contacts successifs de la came, sans toutefois que l'amplitude de ses vibrations soit assez grande pour rompre le contact entre V et R, figure 3; si la came ferme le circuit au moment où la masse M s'approche du faisceau, l'attraction de celui-ci accélère le mouvement et produit la rupture quand l'intensité est encore trop faible pour donner une étincelle, il faut attendre l'étincelle suivante pour obtenir l'inflammation. D'une façon générale cette sorte d'interférence des mouvements de la came et du ressort vibrant change l'intervalle de temps entre la fermeture du circuit et l'étincelle, l'*avance à l'allumage* est déréglée et la puissance du moteur diminue. Pour éviter ce défaut il faut donner aux *interrupteurs vibrants* une fréquence très grande; c'est la solution qu'ont adoptée MM. Arnoux et Guerre.

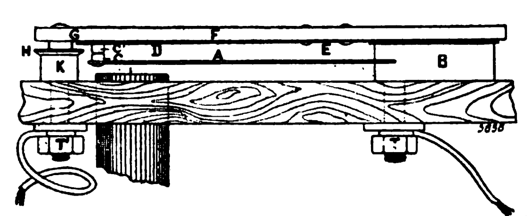


Fig. 6. — Interrupteur Arnoux et Guerre.

Dans l'interrupteur Arnoux et Guerre, figure 6 [1], les lames de ressort A et D, entre lesquelles s'établit le contact, sont en acier et la plaque de recouvrement F est en fer. La lame D est pressée contre A et tend à suivre cette dernière jusqu'à ce qu'elle touche la rondelle de butée H. Quand le courant passe dans la bobine, le faisceau attire A et comme il aimante

[1] Voir aussi *Écl. Élect.*, t. XXXIV, p. 292, 21 février 1903.

à la fois A, F et D, la répulsion qui s'exerce entre les lames tend à augmenter la vitesse avec laquelle A se rapproche du faisceau. A étant en vitesse quand D rencontre la butée H, la rupture est brusque; cette disposition rappelle celle du rupteur Carpentier. Le rupteur Arnoux et Guerre ne comporte qu'un réglage de construction; ce réglage est tel qu'on obtient 436 ruptures par seconde, lorsque la bobine est alimentée par deux accumulateurs; les interrupteurs de Neef dépassent rarement 100 ruptures par seconde.

Dans beaucoup de cas on n'emploie pas de bobines à trembleurs et l'interruption du courant est produite par la came elle-même. Une des dispositions les plus connues, et peut-être la première, est celle de MM. de Dion et Bouton (fig. 7); dans ce système la rupture est produite quand la came C soulève le ressort R et l'éloigne de la vis V; le condensateur est placé entre les deux contacts, comme il l'est dans les bobines à trembleurs. La

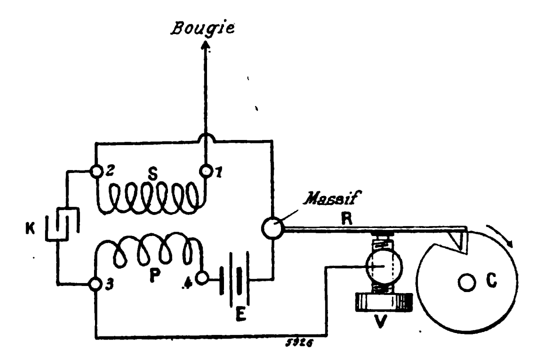


Fig. 7. — Interrupteur de Dion et Bouton.

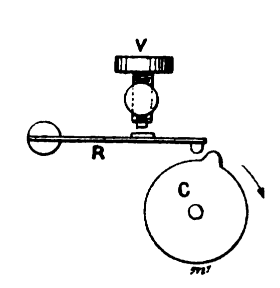


Fig. 8. — Interrupteur Aster.

forme de la came est telle que le ressort R tombe brusquement sur la vis V au moment de la fermeture du circuit, de sorte que le contact s'établit franchement.

Dans le système Aster (fig. 8), la disposition est inverse, le contact s'établit quand le ressort est soulevé par la came et il se rompt brusquement au moment où le ressort est abandonné; le ressort agit ici exactement comme dans les interrupteurs à lame vibrante, sauf que son mouvement est commandé mécaniquement au lieu de l'être par une attraction magnétique. Les deux dispositifs ci-dessus donnent une seule étincelle à chaque contact, tandis que les bobines à trembleurs peuvent en donner plusieurs lorsque le circuit est fermé assez longtemps par la came.

Lorsque le trembleur d'une bobine se colle, le moteur s'arrête faute d'étincelle. Pour remédier à cet inconvénient, M. Guerre place sur les bobines à trembleurs une quatrième borne et il fait les connexions de telle sorte que le contact de la came agit à ce moment comme avec les bobines sans trembleur. En effet, si on ajoute, entre la borne 3 et la vis V (fig. 7) un trembleur ordinaire, celui-ci entre en vibration dès que la came a fermé le circuit entre V et R et les étincelles éclatent; le collage du trembleur a simplement pour effet de ramener au schéma de la figure 7.

Dans les cas où l'on craint que l'étincelle unique des dispositifs de Dion et Aster soit insuffisante, MM. Arnoux et Guerre proposent d'employer un petit appareil auxiliaire, dans lequel un électro agit sur un rupteur de leur système; cet appareil s'intercale simplement entre la pile et la borne 4, d'une part, entre la vis V et la borne 3, d'autre part (fig. 7).

Dans les moteurs à plusieurs cylindres, l'inflammation ne se produisant jamais au même moment dans deux cylindres, il est possible de distribuer l'étincelle tour à tour à chaque cylindre. Ce système a été repris cette année par MM. Charron, Girardot et Voigt, qui



exposaient un distributeur formé de plots en laiton encastrés dans une boîte cylindrique en fibre, au centre de laquelle tournent deux leviers de contact. Une double série de plots est employée ; la première série sert à fermer et à ouvrir le circuit primaire, elle remplace la came des moteurs ordinaires ; la deuxième série relie successivement chaque bougie à la bobine.

La plupart des constructeurs semble préférer l'emploi de bobines multiples, une par cylindre, avec une seule came de distribution sur le primaire et autant de ressorts que de bobines.

Cames et bougies. — Les cames ont subi beaucoup de modifications ; il en existe aujourd'hui un grand nombre de modèles, tous plus perfectionnés les uns que les autres, au dire des inventeurs. En réalité, il semble qu'avec un peu de soin, beaucoup de ces systèmes sont acceptables en pratique. La came à contact par frottement, employée au début des moteurs à gaz, donne lieu à bien des déboires, sur les moteurs à grande vitesse, parce que le moment du contact n'est pas très exactement déterminé à cause du graissage et des vibrations de la lame frottante. Malgré cet inconvénient plusieurs maisons recommandent ce système pour les bobines sans trembleur. Le modèle PM (fig. 9) est un exemple de ce système : la came est en matière isolante ; elle porte un bec métallique qui fait saillie sur l'isolant ; ce bec est relié à la masse. Le frotteur est une tige rigide articulée à une extrémité et pressée contre la came par un piston poussé par un ressort. Ce système fonctionne dans un carter rempli d'huile. Pour les bobines à trembleur, la même maison recommande une came à contact par choc, dans le genre de celle de de Dion.

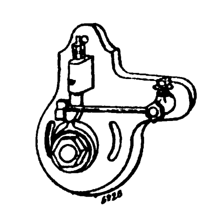


Fig. 9.
Came modèle PM.

Dans les allumeurs Boiron (fig. 10), la came soulève un ressort encastré à ses deux bouts et celui-ci vient en contact avec un second ressort courbe, également encastré ; la vitesse de rupture est ainsi très grande.

Deux points préoccupent surtout les constructeurs de bougies : empêcher leur encrassement et les rendre incassables. Le dernier point est résolu dans un grand nombre de bougies — A. V. — Labitte — en supprimant le scellement de la porcelaine dans la partie métallique et en faisant des joints élastiques à base d'amiante, afin d'éviter que les différences de dilatation de la porcelaine et du métal provoquent la rupture.

Dans la bougie P.M. la porcelaine est remplacée par du mica ; la tige isolée du centre est un boulon d'acier recouvert de feuilles de mica enroulées ; des disques de mica, percés au centre, sont ensuite empilés sur le tout, afin de donner le diamètre convenable et le tout est fortement serré par des écrous ; l'ensemble forme un bloc très isolant et indifférent aux variations de température comme aux trépidations.

L'encrassement des bougies supprime l'étincelle soit en augmentant la résistance, soit, au contraire, en formant dérivation. Plusieurs des nouvelles bougies — A.V. — Boiron — sont munies, dans la partie qui est à l'intérieur du cylindre, d'un chapeau métallique qui entoure le fil isolé ; la porcelaine, qui se trouve au fond de la cavité, est ainsi protégée contre l'action directe de la flamme et contre les projections d'huile.

Magnétos. — L'inflammation par bobines donne une solution simple et commode : elle réduit au minimum les installations mécaniques sur le moteur ; par contre, elle a le grave défaut de reposer sur l'emploi d'accumulateurs ou de piles qui peuvent se trouver déchargés au moment où on en a besoin. Une solution mixte se présente immédiatement, elle consiste à alimenter la bobine au moyen du courant fourni par une magnéto, mise en mouve-

ment par le moteur lui-même ; les accumulateurs ou piles servant seulement à produire le démarrage. Dans certains cas la magnéto sert uniquement à recharger les accumulateurs — Panhard, — dans d'autres elle alimente directement la bobine.

Dans le système Dayton, une véritable dynamo, à induit genre Brown, est excitée en série, mais, afin de permettre le démarrage sans accumulateurs, les pôles de cette dynamo sont formés d'un *alliage carboné spécial?* afin de conserver une assez forte aimantation pour réduire la durée de l'amorçage ; c'est donc une magnéto dans laquelle le courant renforce l'aimant permanent. Afin que le courant fourni ne dépasse pas une valeur convenable, la dynamo est actionnée par un embrayage à friction commandé par un régulateur à force centrifuge ; le régulateur produit automatiquement le débrayage dès que la vitesse convenable est atteinte. Ce dispositif de réglage est employé par plusieurs constructeurs.

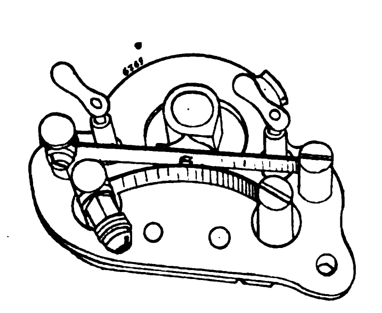
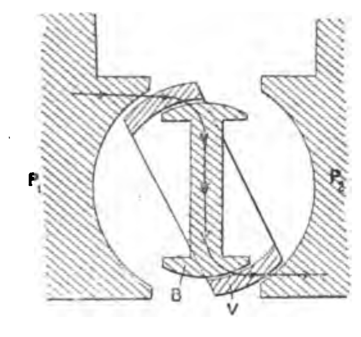


Fig. 10. — Came Boiron.



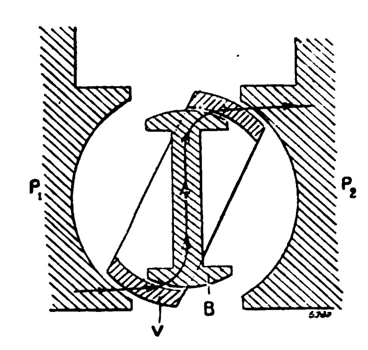


Fig. 11. — Principe des magnétos Simms-Bosch.

Dans l'inflammation par extra courant de rupture, on simplifie généralement la construction de la magnéto en utilisant le courant alternatif, mais il faut alors synchroniser le mouvement de la magnéto avec celui du moteur, afin de produire la rupture au moment où le courant est maximum. La magnéto « Comète » est, au contraire, une machine à courant continu, de sorte que l'étincelle peut être produite à un instant quelconque. L'excitation est obtenue par des aimants permanents dont l'action est renforcée par des bobines montées en série avec l'induit; ces bobines augmentent aussi la self-induction du circuit, et par suite, la force électromotrice d'extra courant.

La magnéto Simms Bosch se compose d'une bobine à double T de Siemens, *immobile* au milieu du champ fourni par des aimants permanents; cette bobine est orientée presque perpendiculairement aux lignes de force de l'aimant (fig. 11). Entre la bobine et les pièces polaires de l'aimant, on a réservé un assez large entrefer dans lequel peut tourner une paire de volets cylindriques V, concentriques à l'axe de la bobine B. Les volets sont commandés par le moteur lui-même qui leur communique un mouvement continu au moyen d'engrenages, ou alternatif au moyen d'une bielle. Quel que soit le mouvement adopté, on voit qu'il a pour effet de faire passer périodiquement les volets V d'une corne à l'autre de la bobine B, ce qui renverse le sens du flux en B ; par suite, un courant alternatif prend naissance dans cette bobine. Quand le mouvement est continu, chaque tour complet du volet V correspond à quatre renversements du flux, la fréquence est donc double de ce qu'elle serait si l'on faisait tourner la bobine B elle-même. La solution qui consiste à faire tourner les volets a encore un autre avantage, qui paraît même constituer le point le plus caractéristique du système, c'est que la bobine B étant immobile, une des extrémités du fil relié à la masse, l'autre extrémité du fil peut sortir isolée et être connectée directement à



la partie isolée de l'inflammateur, sans qu'il soit nécessaire d'avoir recours à des balais ou à des contacts frottants.

La bobine B n'est pas complètement fixe, elle peut être un peu déplacée par le levier d'avance à l'allumage, afin de faire toujours coïncider le moment de la rupture avec le maximum du courant.

Dans le système Bergmann nous retrouvons les mêmes organes, mais avec cette différence que la bobine B est mobile et les volets V fixes; ces derniers servent à déplacer le point où le courant est maximum; c'est donc la disposition inverse du système précédent. Le fil de la bobine est relié d'une part à la masse, d'autre part à un des tourillons de la bobine, isolé du massif; le tourillon est porté par un coussinet, également isolé, sur lequel on attache le fil de l'inflammateur.

Enfin un certain nombre de constructeurs font usage de magnétos plus simples, ayant seulement une bobine à double T, sans volets et avec les connexions sur un palier isolé. Cette simplification se comprend d'autant plus facilement que, dans beaucoup de systèmes, on a supprimé l'avance à l'allumage et aussi par ce fait que le courant fourni par la magnéto conserve une intensité suffisante pendant une fraction importante de la période, de telle sorte qu'il n'est pas indispensable de déplacer le point de courant maximum en même temps que le point de rupture.

Une disposition nouvelle a été exposée par la maison Simms Bosch, mais sans aucune explication; elle réunit dans la magnéto, un circuit primaire, un interrupteur, un condensateur et un circuit secondaire, de telle sorte que cette magnéto fournit directement à une bougie l'étincelle de haute tension; ce système supprime la rupture mécanique du circuit dans le cylindre, c'est, en quelque sorte, la réunion d'une bobine à trembleur et d'une magnéto dans un seul appareil.

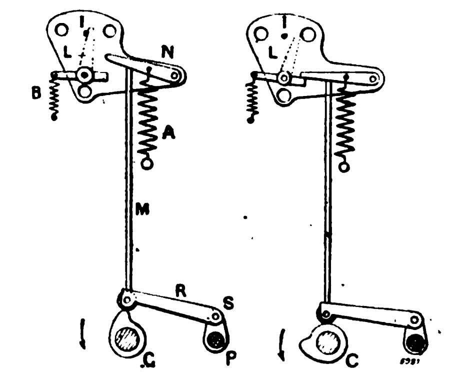


Fig. 12. — Dispositif d'allumage Mercédès.

Dispositifs d'avance a l'allumage et de rupture. — Le courant étant fourni par la magnéto, il ne reste plus qu'à rompre le circuit, dans l'intérieur du cylindre, au moment propice; c'est là que se trouve la plus grande variété de systèmes, on peut dire qu'il n'y a pas deux dispositifs semblables, bien qu'en fait les schémas soient rigoureusement les mêmes.

La rupture du circuit se produit toujours entre une tige isolée I (fig. 12) et un levier L relié à la masse. Toutes les dispositions mécaniques employées ont pour but de produire la séparation très brusque de I et L, et de régler le moment de cette rupture.

Nous signalerons ici quelques-uns des dispositifs employés, ceux sur lesquels nous avons pu obtenir des dessins schématiques suffisants. Dans le système Mercédès (fig. 12), la tige M est appliquée sur la came C par la tension du ressort A; un galet facilite le glissement de cette tige. Au moment où la saillie de la came rencontre le galet, la tige M se lève en abandonnant le levier L, celui-ci vient en contact de I, le circuit se ferme; ensuite, le galet arrivant à la courbe de descente rapide de la came, la tige M retombe en produisant un choc sur le levier L, ce qui a pour effet de rompre brusquement le circuit. La forme de la came est telle que le circuit ne se trouve fermé que pendant une faible fraction du tour, ce qui permet, au moyen de plusieurs cames, convenablement décalées les unes par rapport aux autres, de produire l'inflammation dans tous les cylindres d'un moteur au moyen d'une

seule magnéto. L'avance à l'allumage est produite par la rotation de l'arbre P, lequel entraîne la bielle R, sur laquelle est fixé le galet de M.

Dans les moteurs Hautier, le mouvement de la tige verticale E (fig. 13) est commandé

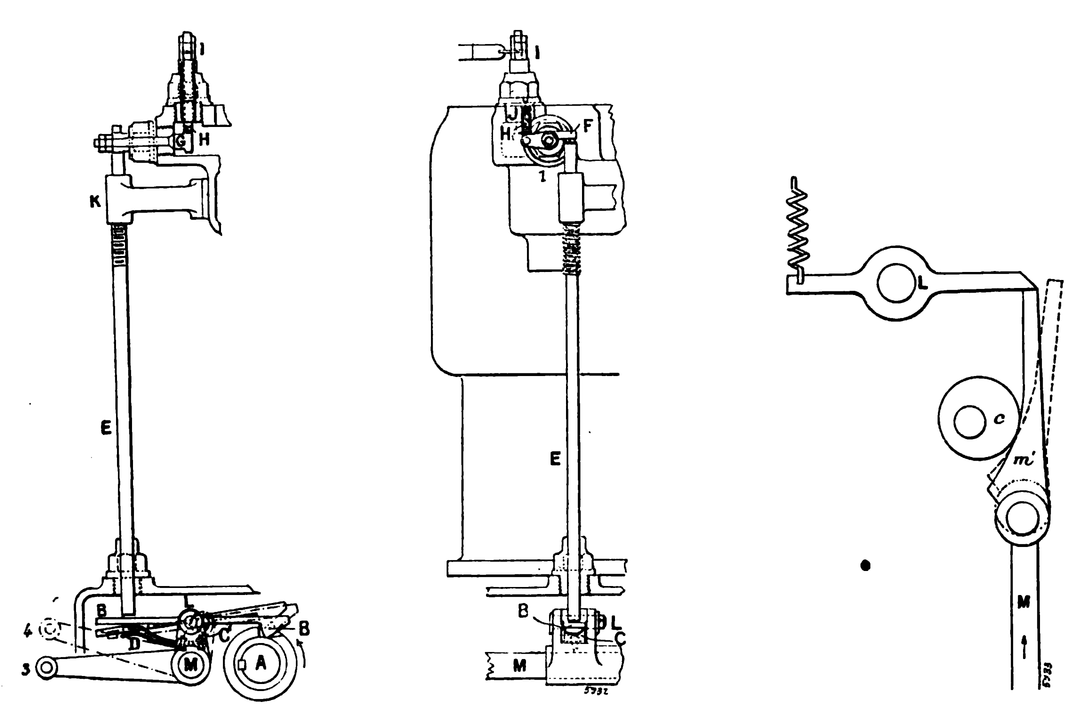


Fig. 13. — Dispositif d'allumage Hautier. Fig. 14. — Dispositif d'allumage Richard-Brazier.

par un levier B, dont l'extrémité opposée à E tombe, au moment voulu, dans une encoche de la came de l'arbre A. Quand le levier d'avance vient de 3 en 4, le moment de l'allumage se trouve changé.

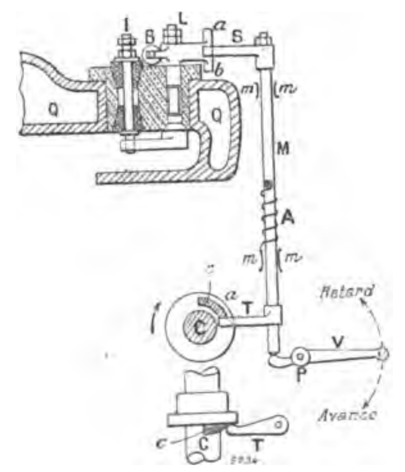


Fig. 15.

Dans le système Richard-Brazier, la tige verticale est toujours animée du même mouvement, mais son extrémité supérieure est articulée de sorte qu'au moyen de la came *c* (fig. 14) sur laquelle glisse la partie *m*, on peut *retarder* le moment de l'allumage d'une quantité constante, au moment du démarrage ; ensuite on revient à l'avance normale, cette maison étant une de celles qui jugent inutile le réglage continuel de l'avance à l'allumage.

Dans d'autres systèmes le mouvement de la tige M est oscillant ; une tige inférieure T (fig. 15) frotte sur la face de la came et elle tourne quand elle rencontre la dent *c*. A la partie supérieure de M se trouve une autre tige qui frappe sur la partie *ab* du levier de rupture L.

Une disposition de réglage automatique de l'avance était présentée par la Société italienne *Fiat*, c'est le système de l'ingénieur Jean Enrico. La magnéto est reliée au moteur par des engrenages ; une des roues est double, une des moitiés engrène avec le pignon du moteur, l'autre avec celui de la magnéto. Un régulateur à force centrifuge est disposé à l'intérieur de la double roue

et il règle le décalage d'une des moitiés sur l'autre, selon la vitesse du moteur, ce qui a pour effet de compenser les variations du retard à l'établissement du courant, de sorte que la rupture, qui est fixe, se produit toujours au maximum.

H. ARMAGNAT.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION

Sur la réaction d'induit des alternateurs, par **C.-F. Guilbert** (*suite* [1]). *Electrical World and Engineers*, des 25 octobre, 8, 22, 29 novembre, 6, 13, 20, 27 décembre 1902.

II. — DIAGRAMMES POUR LA PRÉDÉTERMINATION DES CARACTÉRISTIQUES EN CHARGE

Les diagrammes publiés pour faciliter la prédétermination des caractéristiques en charge par les méthodes graphiques peuvent être classés en trois catégories :

La première comprend les diagrammes qui ne font intervenir que des forces électromotrices ou les flux composants qui les produisent.

Elle a pour point de départ le diagramme des tensions dit « de Kapp » et comprend ceux de M. Behn-Eschenburg, de M. Blondel auquel il faut rattacher un diagramme nouveau d'Arnold et celui proposé tout récemment par M. Picou.

La seconde se rapporte aux diagrammes qui ne font intervenir que les ampèretours et comporte uniquement celui bien connu du professeur Arnold avec sa modification permettant de tenir compte de l'augmentation des fuites magnétiques de l'inducteur avec la charge.

La troisième comprend les diagrammes beaucoup plus nombreux qui font intervenir à la fois des forces électromotrices ou des flux et des ampèretours.

Cette classe la plus nombreuse comprend les diagrammes de MM. Rothert, Heyland, Potier, Niethammer, un plus récent de M. Bauch ainsi que celui de l'auteur.

Comme nous l'avons dit au début de cette étude, notre intention n'est pas de discuter les mérites et les défauts de chacun des diagrammes que nous venons de citer, nous donnerons simplement les qualités et les défauts généraux pour arriver à deux diagrammes suffisamment exacts en pratique, l'un tout à fait général et l'autre applicable aux alternateurs à produits peu saturés qui sont encore les plus nombreux actuellement.

Nous ne reviendrons pas sur les diagrammes de Behn-Eschenburg et d'Arnold dont le procès a été fait depuis longtemps et qui n'ont pu rendre quelques services qu'avec les alternateurs n'ayant que des inductions assez faibles dans leurs circuits magnétiques métalliques pour les considérer comme proportionnelles aux forces magnétomotrices qui les produisent.

DIAGRAMMES DE LA PREMÈRE CLASSE. — Ces diagrammes sont généralement exacts, surtout lorsqu'ils tiennent compte de la différence des effets de la réaction transversale et de la réaction directe, comme l'a proposé pour la première fois M. Blondel.

Le diagramme de M. Picou qui n'est autre que celui de M. Blondel avec de légères modifications tenant compte de l'augmentation des fuites magnétiques de l'inducteur et qui introduit une détermination nouvelle de l'effet de la distorsion nous paraît être plus exact et nos critiques ne pourront s'exercer que sur l'ingénieux artifice imaginé par M. Picou pour déterminer la valeur du flux dû à la force magnétomotrice transversale ainsi que la diminution du flux utile résultant de la distorsion.

L'effet de la distorsion du champ est, comme on le sait, de diminuer l'induction sous une corne polaire et de l'augmenter sous l'autre.

Si l'on considère les tubes de force allant de l'inducteur dans l'induit, ceux qui passent du côté le plus saturé de l'entrefer exigent un complément d'excitation, tandis que ceux qui passent du côté le moins saturé nécessitent au contraire une diminution des ampèretours.

[1] Voir précédent numéro, p. 356.

Si le nombre d'ampèretours complémentaires est égal au nombre d'ampèretours de diminution, les ampèretours moyens d'excitation restent les mêmes, l'augmentation d'un côté de l'axe d'un pôle inducteur et la diminution de l'autre côté est alors obtenue par la force magnétomotrice transversale.

Si, au contraire, le nombre d'ampèretours d'augmentation est plus grand que celui des ampèretours de diminution par suite des variations différentes de la perméabilité avec l'augmentation ou la diminution de l'induction, l'excitation moyenne devra être augmentée pour maintenir le même flux moyen, ou, si l'excitation a été laissée la même, le flux moyen sera diminué.

Pour calculer cette réduction du flux moyen, il est évidemment nécessaire de faire deux hypothèses : une sur la répartition de la force magnétomotrice transversale le long de la face polaire et l'autre sur la répartition de l'induction à l'intérieur des parties métalliques du circuit magnétique inducteur.

M. Picou adopte pour la force magnétomotrice transversale une répartition linéaire, c'est-à-dire croissant et décroissant avec la distance au milieu du pôle.

Cette loi, rigoureuse pour les dynamos à courant continu, ne l'est plus pour les alternateurs où l'on se rapproche plus ou moins exactement de la loi sinusoïdale ; c'est cette loi de répartition que nous adopterons de préférence bien que la méthode que nous donnerons pour la détermination du flux transversal puisse être facilement généralisée.

En ce qui concerne la loi de répartition de de l'induction dans les différentes sections du circuit magnétique inducteur, M. Picou admet implicitement que la répartition reste analogue à celle de l'entrefer en tous les points du circuit magnétique inducteur. Ceci revient à dire que la distorsion se fait sentir tout le long de ce circuit magnétique. Cette hypothèse est évidemment un pis aller, car il n'est pas douteux que l'induction tend à redevenir homogène dans chaque section droite du circuit magnétique inducteur au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'entrefer ; elle ne peut donc conduire qu'à un résultat approché par excès et d'autant moins exact que l'inducteur sera plus saturé.

Il nous semble qu'on s'approche plus de la réalité, quoiqu'en péchant cette fois par défaut, en admettant que l'induction est redevenue homogène dès son entrée dans le noyau polaire ou autrement dit que la distorsion n'intéresse que les pièces polaires.

Avec cette hypothèse, il suffira d'appliquer une construction de même principe que celle de M. Picou, non comme lui, à la courbe du flux utile à vide en fonction des ampèretours inducteurs, mais à la *caractéristique de l'induit*, c'est-à-dire à la courbe représentative du flux utile en fonction seulement des ampèretours nécessaires pour faire passer ce flux dans l'induit, dans l'entrefer et dans la partie de la pièce polaire traversée par ce flux utile (1).

Ceci posé, nous allons donner la construction dont nous venons de parler.

Considérons (fig. 7) la caractéristique de l'induit (ou mieux la courbe des inductions maxima utiles) d'un alternateur et soit AB une induction utile maxima correspondant à vide à une force magnétomotrice OA (2).

Si nous admettons la loi sinusoïdale comme loi de répartition de la force magnétomotrice transversale, nous décrirons du point A comme centre une demi-circonférence dont le rayon sera égal à la valeur moyenne de la force magnétomotrice transversale calculée par la formule (7) et multipliée par $\frac{\pi}{2}$ pour avoir la valeur maxima de cette valeur moyenne (3).

La demi-circonférence de centre A pourra

---

(1) La séparation de la caractéristique de l'induit de la caractéristique du flux utile à vide ou, encore, le partage de cette dernière en deux courbes se rapportant l'une à l'induit et l'autre à l'inducteur et en fonction chacune des forces magnétomotrices nécessaires à ces parties du circuit magnétique, nous a été suggérée par M. Potier. Elle nous a servi considérablement dans ce travail ainsi qu'on en jugera encore par la suite.

(2) Pratiquement on considérera la caractéristique à vide de l'induit, courbe de la tension en fonction des ampèretours correspondants; les trois courbes : induction maxima, flux et tension pourront être représentées par l'une d'entre elles avec des transformations convenables d'échelles.

(3) La considération de la valeur moyenne est faite ici dans le but de simplifier le calcul du flux transversal. Rigoureusement, il faudrait étudier cette réaction transversale pour diverses positions, pour lesquelles on déterminerait, comme on va le voir, les valeurs du flux transversal, valeurs qui serviraient ensuite à construire une courbe dont la valeur moyenne serait la valeur cherchée.



être regardée comme représentant la longueur du pas polaire, et nous prendrons sur chaque quart de circonférence des longueurs DE′, DE″ égales à $\frac{b}{2}$.

La force magnétomotrice en un point quelconque C de l'arc polaire s'obtiendra donc

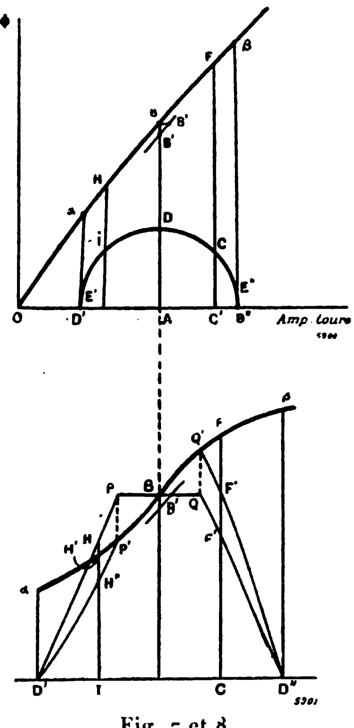


Fig. 7 et 8.

en abaissant de ce point une perpendiculaire sur OA, d'où OC′.

Construisons la courbe des valeurs de C′F en fonction de DC.

Si l'intensité du champ était constante à vide le long de l'entrefer, comme le suppose M. Picou, cette intensité serait en charge représentée par la courbe $\alpha B \beta$ de la figure 8.

S'il n'en était pas ainsi, il faudrait avec BA comme axe et valeur maxima et D′D″ comme base dessiner la courbe de répartition de l'induction, puis relever les points tels que F′ en F″ de façon que l'on ait :

$$\frac{CF''}{CF'} = \frac{CF}{AB},$$

ou abaisser la pointe telle que H′ en H″ avec

$$\frac{IH''}{IH'} = \frac{IH}{AB}$$

pour avoir en D′H″BF″D″ la répartition de l'induction après la distorsion.

Si cette surface n'est pas égale à la surface D′PBQD″, mais est plus petite, le flux moyen se trouve réduit par l'effet de la distorsion et pour avoir sa nouvelle valeur, il suffit, en s'aidant du rapport de la surface à son ordonnée maxima, d'abaisser le point B d'une quantité BB′ telle que la nouvelle surface représentant le flux sans distorsion soit égale à la surface représentant le flux après distorsion.

La différence entre les deux parties de gauche ou les deux parties de droite des surfaces du flux après la distorsion et sans distorsion, mais après réduction, représentera le flux transversal, flux qu'il est nécessaire de connaître pour le calcul de la force électromotrice due à la réaction transversale.

On peut aussi déduire de là la courbe des points B′ c'est-à-dire la caractéristique du flux utile distordu de façon à déterminer le nombre d'ampèretours BB′ (fig. 7) qu'il faut ajouter à OA pour maintenir le même flux utile après la distorsion.

Il est à remarquer que si la portion $\alpha\beta$ de la caractéristique de l'induit est droite, la distorsion n'entraîne aucune perte de flux moyen ; cette propriété évidente dans le cas d'une répartition homogène du flux dans l'entrefer est encore vraie pour une répartition quelconque symétrique par rapport à l'axe du pôle ainsi qu'on le vérifie facilement, le point B étant alors un centre de la courbe $\alpha\beta$.

La réduction du flux utile due à la distorsion et le flux transversal étant connus, il ne nous reste plus qu'à indiquer sommairement comment on construit le diagramme pour le débit choisi I et le déphasage total φ.

Pour y arriver, on peut partir d'un des trois points de vue que nous avons signalés plus haut c'est-à-dire en supposant :

1° Qu'on augmente l'excitation de façon à maintenir en charge le même flux utile qu'à vide ;

2° Qu'on augmente l'excitation de façon à maintenir seulement constant le flux dans l'inducteur ;

3° Qu'on suppose simplement l'excitation constante.

De ces trois points de départ, le second employé par M. Picou est le plus commode et

nécessite l'emploi de caractéristiques partielles de l'induit, de l'inducteur et du circuit ou des circuits de dispersion de l'inducteur et de l'induit.

Avec le premier et le troisième points de départ, la caractéristique à vide totale est seule nécessaire et l'augmentation de force magnétomotrice CN′ (fig. 3) dans le premier cas, ou le calcul du flux utile CB′ dans le second cas (fig. 6), pourraient être déterminés comme il a été indiqué à propos de la recherche de la valeur de ν (note 1, p. 361) et à propos de la vérification de la formule donnant la force magnétomotrice de réaction directe.

Proposons nous de construire un diagramme pour un débit donné et un déphasage total ψ également donné.

Après avoir déterminé la partie du flux utile que l'inducteur doit réellement fournir ou la force électromotrice correspondante OA (fig. 10), en tenant compte du point de départ adopté (1), il suffit de porter perpendiculairement à OA, une longueur AB égale au flux transversal calculé comme il a été dit ou à la force électromotrice correspondante.

On mènera ensuite perpendiculairement à la direction du courant un vecteur BC représentant la force électromotrice de dispersion, puis parallèlement à la direction du courant un vecteur CD égal à la chute ohmique ou la majorant comme d'usage de l'augmentation apparente de la résistance pour tenir compte des courants de Foucault à défaut d'autre procédé plus exact.

---

(1) Pour faciliter l'application de la deuxième méthode, nous rappellerons ici une construction graphique très ingénieuse de la perte de flux utile par l'effet de la réaction directe et proposée également par M. Picou.

Nous avons vu, dans la première partie de ce travail, que si l'on maintenait le flux constant dans l'inducteur, la réaction directe avait pour effet de réduire le flux utile d'une quantité $\frac{\mathcal{F}_i}{\mathcal{R}_i + \mathcal{R}_a}$ tout en nécessitant une augmentation de la force magnétomotrice inductrice de la quantité $\frac{\mathcal{F}_i}{\nu}$. Pour obtenir graphiquement la réduction de flux, considérons (fig. 9) la caractéristique de l'induit. Le flux utile MP produit dans l'induit par la différence de potentiel magnétique OP est évidemment tel que la tangente de l'angle MOP soit égale à la perméance $\mathcal{P}_i = \frac{1}{\mathcal{R}_i}$ de l'induit.

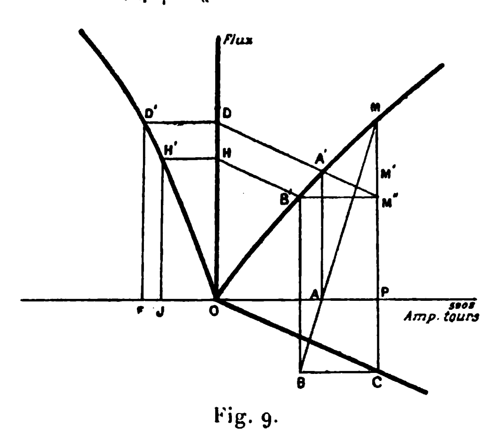


Fig. 9.

Traçons au-dessous et à partir du point O la courbe représentant les valeurs du flux de fuite de l'inducteur en fonction également des ampèretours.

Pour une différence de potentiel magnétique OP entre les pièces polaires, le flux perdu sera BC.

Portons à partir du point C une horizontale égale à la force magnétomotrice transversale $\mathcal{F}_i$ et joignons BM qui rencontre OP en A. Par A élevons la perpendiculaire AA′ jusqu'à sa rencontre en A′ avec la courbe et par A′ menons une parallèle A′M″ à la corde OC. La réduction du flux utile est M′M″ et l'augmentation de la force magnétomotrice de l'inducteur pour compenser la force magnétomotrice transversale est AP.

On a en effet :

$$AP = BC \times \frac{MP}{MC} = \times \mathcal{F}_i \frac{\frac{1}{\mathcal{R}_i}}{\frac{1}{\mathcal{R}_i} + \frac{1}{\mathcal{R}_a}} = \frac{\mathcal{F}_i \mathcal{R}_a}{\mathcal{R}_i + \mathcal{R}_a} = \frac{\mathcal{F}_i}{\nu}$$

et

$$M'M'' = AP \times \frac{1}{\mathcal{R}_a} = \frac{\mathcal{F}_i \mathcal{R}_a}{\mathcal{R}_i + \mathcal{R}_a}.$$

Pour tenir compte de l'inducteur, il suffira de tracer la caractéristique de cette partie du circuit magnétique seule à gauche, le flux total à développer étant CM″, il suffira de mener par M″ une parallèle à la corde OC jusqu'en D, puis par ce point la parallèle à OP pour avoir en DD′ ou OF la force magnétomotrice nécessaire à l'inducteur.

Si l'on avait mené par M″ la parallèle M″B′, puis par B′ la parallèle OC et enfin par H la parallèle HH′ à OP, on voit que, pour maintenir un flux constant BM″ dans l'induit à vide et en charge, il aurait fallu augmenter la force magnétomotrice d'abord d'une quantité égale à BM″, puis d'une quantité JF correspondant à l'augmentation du flux inducteur par suite de l'augmentation de la dispersion.

La somme BM″ + JF est évidemment égale à la valeur trouvée plus haut $\mathcal{F}_i \left(1 + \frac{r}{\mathcal{R}_a}\right)$ augmentée des ampèretours correspondant à la variation des résistances magnétiques r et $\mathcal{R}_i$.

C'est cette dernière construction que nous avons utilisée avant de connaître celle indiquée par M. Picou et dont nous nous servirons encore plus loin.

Le vecteur OD représentera alors la tension aux bornes en grandeur et en phase.

On déterminera le courant d'excitation nécessaire en totalisant les différentes forces magnétomotrices qu'on a dû ajouter successivement sur l'inducteur pour assurer finalement un flux utile OA dans l'induit.

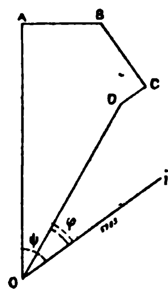


Fig. 10.

La seule quantité que nous n'avons pas déterminée est la force électromotrice de dispersion de l'induit. Son calcul est en effet assez difficile si l'on veut obtenir un résultat suffisamment approché.

Cette force électromotrice dépend naturellement de la forme des encoches, de leur nombre par phase et par pôle, de la forme et de la disposition des parties extérieures et de la force magnétomotrice totale de l'induit.

Cette force électromotrice de dispersion de l'induit peut être séparée en deux parties bien distinctes : l'une due à une self-induction réelle de l'enroulement induit et correspondant à la majeure partie des portions de l'enroulement extérieures à l'induit, l'autre correspondant à une self-induction fictive et due en réalité à une diminution du flux utile occasionnée par le refoulement vers l'entrefer des lignes de force traversant les encoches.

Nous voulons dire par là que les lignes de force traversant les encoches, et constituant la partie considérée du flux de dispersion dit de l'induit, sortent en somme de l'inducteur et correspondent ainsi à une véritable augmentation du coefficient de dispersion de l'inducteur en dehors de l'augmentation déjà signalée plus haut et qui a lieu dans l'entrefer, entre les cornes polaires, et entre les noyaux.

Autrement dit, cette partie de la dispersion de l'induit quoiqu'en phase avec le courant induit est en somme produite réellement par l'inducteur.

En première approximation, on peut admettre que la force électromotrice de dispersion est, pour le courant normal, de 10 à 15 p. 100 de la tension normale aux bornes suivant le nombre d'ampèretours par centimètre de développement de l'induit et par phase.

On peut la déterminer expérimentalement sur un type établi en enroulant une bobine d'épreuve, spire par spire, avec une des bobines de l'enroulement et en étudiant la tension induite dans ce bobinage d'épreuve pour la marche en court-circuit, par exemple.

En court-circuit, en effet, le seul flux qui passe à travers l'induit correspond uniquement à la force électromotrice de dispersion et à la résistance ohmique.

La valeur obtenue ainsi est toutefois un peu trop grande par suite de l'absence de saturation des circuits magnétiques.

Diagrammes de la 2e et de la 3e classes. — Le diagramme que nous venons de donner répond aux besoins de rigueur de la technique actuelle et peut par suite servir pour la prédétermination des caractéristiques en charge d'un alternateur avec saturation assez élevée, aussi bien dans l'induit que dans l'inducteur ; toutefois, il est d'une application laborieuse.

Comme beaucoup d'alternateurs ont encore actuellement dans les dents de l'induit une induction assez faible pour que, avec un entrefer raisonnable, la caractéristique de l'induit puisse être regardée comme sensiblement droite, il n'est pas sans intérêt de donner un diagramme plus simple et applicable à ce cas.

Nous allons y arriver en discutant les diagrammes de la deuxième et de la troisième classes.

Les diagrammes de troisième classe sont presque toujours des généralisations plus ou moins complètes du diagramme du moteur asynchrone, tel que l'a donné M. Blondel en 1896.

Ce diagramme a été du reste généralisé par nous en 1897 pour le cas où l'induit du moteur contient une self-induction ou une capacité, c'est donc l'application de ce diagramme qui a été faite purement et simplement aux alternateurs. Cette application est-elle justifiée ?

Nous ne le pensons pas, et nous allons essayer d'expliquer pourquoi.

Le diagramme du moteur asynchrone repose sur ce fait, que le flux résultant est produit par la force magnétomotrice résultante de l'inducteur et de l'induit.



Il nous semble que ceci suppose, ce qui existe pour les moteurs asynchrones, que l'induit et l'inducteur ne présentent pas de pôles saillants, ou, autrement dit, que la force magnétomotrice de l'induit peut dans toutes ses positions par rapport à l'inducteur travailler, si elle est seule, sur un circuit magnétique toujours identique à lui-même et comprenant le circuit magnétique inducteur lui-même.

Ceci revient encore à dire que la direction du flux inducteur n'est pas déterminée par les conditions de constitution de la machine puisqu'il ne nécessite aucune séparation visible entre les différents pôles de l'inducteur.

Pour les alternateurs à pôles séparés, il n'en est plus de même ; la direction de l'axe du champ inducteur est bien déterminée dans les noyaux et dans la carcasse; il n'y a que dans les pièces polaires, l'entrefer et l'induit que cette direction cesse d'être fixe.

Il en résulte que c'est dans ces parties seules que la composition des forces magnétomotrices peut se faire suivant le polygone des forces.

Ce fait est du reste une conséquence de ce que la réaction transversale et la réaction directe se manifestent ensemble seulement dans les pièces polaires, l'entrefer et l'induit.

La composition permise est donc simplement celle de la différence de potentiel magnétique inductrice entre les deux faces de l'entrefer d'une part et celle de la différence de potentiel entre les mêmes faces et due à la force magnétomotrice de l'induit.

Si l'induit est peu saturé, on voit qu'on pourra composer la force magnétomotrice de l'induit avec les ampèretours nécessaires à l'entrefer et majorer d'un tantième pour tenir compte des résistances magnétiques de l'induit et de l'épanouissement polaire supposées constantes.

Si l'on peut admettre que b est égal à b', la construction des diagrammes devient alors beaucoup plus simple, car elle ne nécessite plus la connaissance de l'angle de déphasage total ψ et permet par suite de partir de la tension aux bornes pour construire le diagramme complet.

Donnons-nous, en effet, la tension aux bornes U, le courant I et le déphasage φ de ce dernier par rapport à la première, nous pourrons construire que nous appellerons le diagramme des tensions en ajoutant successivement et géométriquement à U la perte ohmique rI et la force électromotrice de dispersion de l'induit.

La force électromotrice résultante OC correspond au flux utile dans l'induit, nous relèverons donc sur la caractéristique e l'induit led nombre d'ampèretours nécessaires pour maintenir ce flux à vide et nous porterons ce nombre sur OC même, ce qui peut toujours se faire en choisissant convenablement l'échelle des ampèretours.

Si l'on mène alors du point C une perpendiculaire CD à la direction du courant et égal à $\mathfrak{F}_i$, force magnétomotrice totale de l'induit, la droite OD représentera la direction de la force magnétomotrice ou du flux inducteur.

Décomposons le flux OC suivant la direction OD et sa perpendiculaire, nous aurons en OE le flux qui, indépendamment du flux de fuite, traverse réellement l'inducteur, tandis que EC sera le flux transversal, les flux étant ici proportionnels aux différences de potentiel magnétiques qui les produisent.

Le vecteur OD représente la différence de potentiel entre les cornes polaires, et il suffit d'y ajouter la force magnétomotrice de réaction directe ED pour avoir la force magnétomotrice totale nécessaire pour faire passer le flux utile dans l'induit et équilibrer la force magnétomotrice de l'induit.

En effet, il est facile de démontrer en se reportant à la figure 9 que, lorsque la caractéristique OM est droite, le point B' est sur la même verticale que B ou, autrement dit, que la force magnétomotrice B'M'' qu'il faut ajouter à la différence de potentiel magnétique entre les cornes polaires pour maintenir le même flux M''P à vide et en charge est égale à $\mathfrak{F}_i$ (la quantité FJ est alors égale à $\frac{r}{\mathfrak{R}_a} \mathfrak{F}_i$ par différence),

Le flux de fuite de l'induction est de même phase que le flux dans le noyau, et sa valeur EH doit être ajoutée non géométriquement au flux OC, comme on l'a fait jusqu'ici [1], mais au flux OE.

Le flux résultant dans l'inducteur est alors OH. Du reste, il n'est pas besoin de porter ce flux sur le diagramme, car les caractéristiques par-

[1] M. Bauch, dont le diagramme se rapproche du nôtre pour la séparation des ampèretours nécessaires à l'induit de ceux nécessaires à l'inducteur, fait néanmoins la même erreur.



tielles de la figure 9 donnent immédiatement le nombre d'ampèretours nécessaires pour faire passer le flux M''P dans l'induit avec les fuites différentes, y compris celles dues à l'augmentation de la force magnétomotrice pour compenser des ampèretours de l'induit.

Comme on le voit, ce diagramme ne suppose qu'une chose, c'est que la caractéristique de l'induit est sensiblement droite, l'inducteur peut être saturé autant qu'on veut, sans que l'exactitude de la méthode en souffre.

Conclusions. — Les considérations que nous venons de donner ne sont évidemment pas encore parfaites, principalement en ce qui concerne la façon d'obtenir la valeur du flux transversal moyen et celle de tenir compte des fuites magnétiques de l'inducteur.

A ce dernier point de vue, en particulier, nous avons été obligés d'admettre que les fuites de l'inducteur sont déterminées par la différence de potentiel magnétique entre les épanouissements polaires.

En réalité, ceci n'est vrai que pour la partie des fuites magnétiques de l'inducteur entre les cornes polaires, l'autre partie, celle entre les noyaux dépend d'une force magnétomotrice qu'il n'est pas possible d'obtenir par le calcul direct, on peut simplement y arriver par approximations successives.

Quoiqu'il en soit, nous pensons que les formules que nous avons établies et qui se sont vérifiées avec beaucoup d'exactitude sur un grand nombre de machines, en particulier pour la prédétermination de la droite du courant de court-circuit, ainsi que les deux diagrammes que nous avons donnés pourront rendre quelques services aux ingénieurs qui s'occupent de la construction des alternateurs.

DIVERS

Recherches sur l'arc alternatif de très faible intensité jaillissant entre électrodes métalliques, par Ch.-Eug. Guye et B. Monasch.

A propos de l'article publié sous ce titre dans le numéro du 28 février, M. Guye nous écrit :

Nous croyons bien faire de rectifier quelques erreurs de chiffres qui se sont glissées à l'impression du tableau n° 10 donnant la comparaison entre les poids atomiques et la tension aux électrodes.

Ces corrections font tomber la contradiction qui existe entre le tableau publié et le texte de l'article.

Page 318

(Fe $d = 3$ $I = 0{,}04$)	*lire*	650 volts.
(Cu $d = 7$ $I = 0{,}05$)	»	1 010	»
(Ag $d = 7$ $I = 0{,}04$)	»	1 100	»
(Pt $d = 7$ $I = 0{,}04$)	»	1 150	»

Le tableau complet et corrigé en outre de quelques erreurs de peu d'importance paraîtra *Arch. des Sc. phys. et nat.* Mars 1903. (Séance du 8 janv. 1903).

A noter également que le nom de l'un des auteurs de l'article est M. Berthold Monasch et non Monarch.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

DEUTSCHE ELEKTROCHEMISCHE GESELLSCHAFT

Congrès de Wurzburg (1)

Sur l'électrolyse des chlorures alcalins avec électrodes platinées, par Fœrster et Müller. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. VIII, p. 515 (*suite*).

Dans les figures 3 et 4, on a rassemblé les différents essais 21 à 28 et 16, 17, 19, 20, la

(1) Voir *Écl. Élect*, t. XXXIII, p. 286, 357 et 460, 22 nov., 6 et 27 déc. 1902 ; t. XXXIV, p. 24, 220, 335 et 378, 3 janv., 9 et 28 févr., 7 mars 1903.

Outre les travaux analysés ici, les communications suivantes que nous ne ferons que signaler, ont aussi été présentées au Congrès :

Cuve à mercure pour démonstration, par le Dr E. Jordis. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. VIII, p. 675. — L'auteur présente une nouvelle cuve pour la démonstration des tensions de vapeur. Cet appareil a l'avantage de ne nécessiter l'emploi que de quantités relativement faibles de mercure. Nous n'insisterons pas davantage sur cette communication qui n'a aucun caractère électrique.

Un nouveau dyaliseur, par le Dr E. Jordis. *Zeits-*



figure 3 se rapportant à la plus haute densité de courant, et la figure 4, à la plus basse. Les courbes en trait plein se rapportent à l'anode platinée et celles en trait ponctué, à l'anode polie. On voit que l'influence du platinage de l'anode est la même avec les solutions d'acide sulfurique et de soude qu'avec celles de chlorure de sodium. L'essai n° 29 effectué dans les mêmes conditions que l'essai n° 20, prouve d'ailleurs qu'ici aussi le potentiel de la cathode platinée reste invariable.

Essai n° 29. — *Electrolyte, solution normale de soude. — Température 16° C.*

TEMPS depuis le début de l'électrolyse.	TENSION aux bornes B en volts.	TENSION anodique A en volts.	B — A
10 minutes.	2,04	— 1,798	0,242
36 —	2,085	— 1.839	0,246
47 —	2,12	— 1.872	0,248
60 —	2,14	— 1,896	0,244
1,75 heure.	2,16	— 1,920	0,240
2,75 —	2,185	— 1,941	0,244
8 —	2,23	— 1,987	0,243
23 —	2,31	— 2,044	0,266

b. *Les phénomènes à l'anode platinée.* — Les essais 21, 23, 25 et 27 apprennent que le potentiel anodique, pendant l'électrolyse de NaOH ou de H^2SO^4 croît constamment, rapidement au début, plus lentement ensuite. Le noir de platine se charge de plus en plus d'oxygène. Comme cette charge ne se perd que très lentement, on obtient toujours, après interruption, la valeur élevée obtenue avant pour la tension. Pour éloigner les charges d'oxygène, il faut polariser quelques instants cathodiquement l'anode, comme cela est montré par la fin de l'essai 23.

Entre les valeurs de p et celles de la tension aux bornes existent des différences sensiblement constantes qui sont exprimées dans le résumé I en même temps que les valeurs calculées de rI. On a pris ici comme résistance intérieure celle d'un prisme de solution de 30 cm² de section et 2 cm de longueur (on a en réalité ici une limite supérieure par suite des lignes de courant extérieures). Pour H^2SO^4 binormal, la résistance calculée ainsi était 0,20 ohm ; elle était de 0,32 ohm pour NaOH binormal.

Résumé I.

ÉLECTROLYTE	DENSITÉ de courant en ampères par cm².	DIFFÉRENCE entre la tension aux bornes et la tension p.	rI	Δ
H^2SO^4 (2n.)	0,067	0,56	0,40	0,16
NaOH (2n.)	0,067	0,68	0,64	0,04
H^2SO^4 (2n.)	0,017	0,21	0,10	0,11
NaOH (2n.)	0,017	0,24	0,16	0,08

Si on retranche de la tension aux bornes dans les premiers moments de l'électrolyse la différence exprimée dans la troisième colonne du tableau précédent, on trouve pour p la valeur 1,68 volt qui représente le minimnm de la tension nécessaire pour dégager l'hydrogène et l'oxygène par la décharge des ions H et OH dans les solutions acides ou alcalines. Les valeurs plus élevées de p résultent du travail supplémentaire que la séparation des ions OH nécessite à l'anode avec la pression croissante d'oxygène. Les points de brisure trouvés par Nernst et Glaser et qui correspondent aux tensions minima de 2,0 volts et 1,9 volt pour l'électrolyse des solutions de soude et d'acide sulfurique ne sont pas valables avec les électrodes platinées.

Par l'électrolyse de la soude ou de l'acide sulfurique, il ne se produit aucune trace d'oxygène actif dans la solution. Au contraire, avec une solution neutre de chlorure de sodium, il y a production, dès le début de l'électrolyse, d'un oxydant, l'acide hypochloreux. A l'inverse de ce qui se passe avec la soude et l'acide sulfurique, la tension élevée obtenue ici n'est pas exclusivement limitée par l'électrode, mais aussi par la solution.

On doit alors obtenir une tension constante pendant l'électrolyse du chlorure avec anode platinée, le potentiel d'oxydation constant de-

chrift f. Elektrochemie t. VIII, p. 677. — L'auteur décrit un appareil dyaliseur dans lequel n'entrent ni le verre, ni les produits céramiques.

Sur l'acide silicique, les silicates alcalins et alcalino-terreux, par le Dr **E. Jordis**, d'après des recherches de E.-H. Kanter. *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. VIII, p. 678. — Mémoire purement chimique.

Sur le gypse, par le professeur Dr **J.-H. Van't Hoff**. *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. VIII, p. 575. — Communication d'ordre chimique.

vant être attribué à l'oxygène de l'hypochlorite qui se trouve en contact avec l'anode.

C'est ce que montre l'essai 18 à faible densité de courant. Avec la densité de courant élevée, la tension croît parce que le potentiel anodique dépend du pouvoir d'oxydation de la solution en contact immédiat avec l'anode. Une densité élevée de courant accumule autour de l'anode des quantités croissantes d'acide hypochloreux. Ces différences de concentration qui n'existent pas

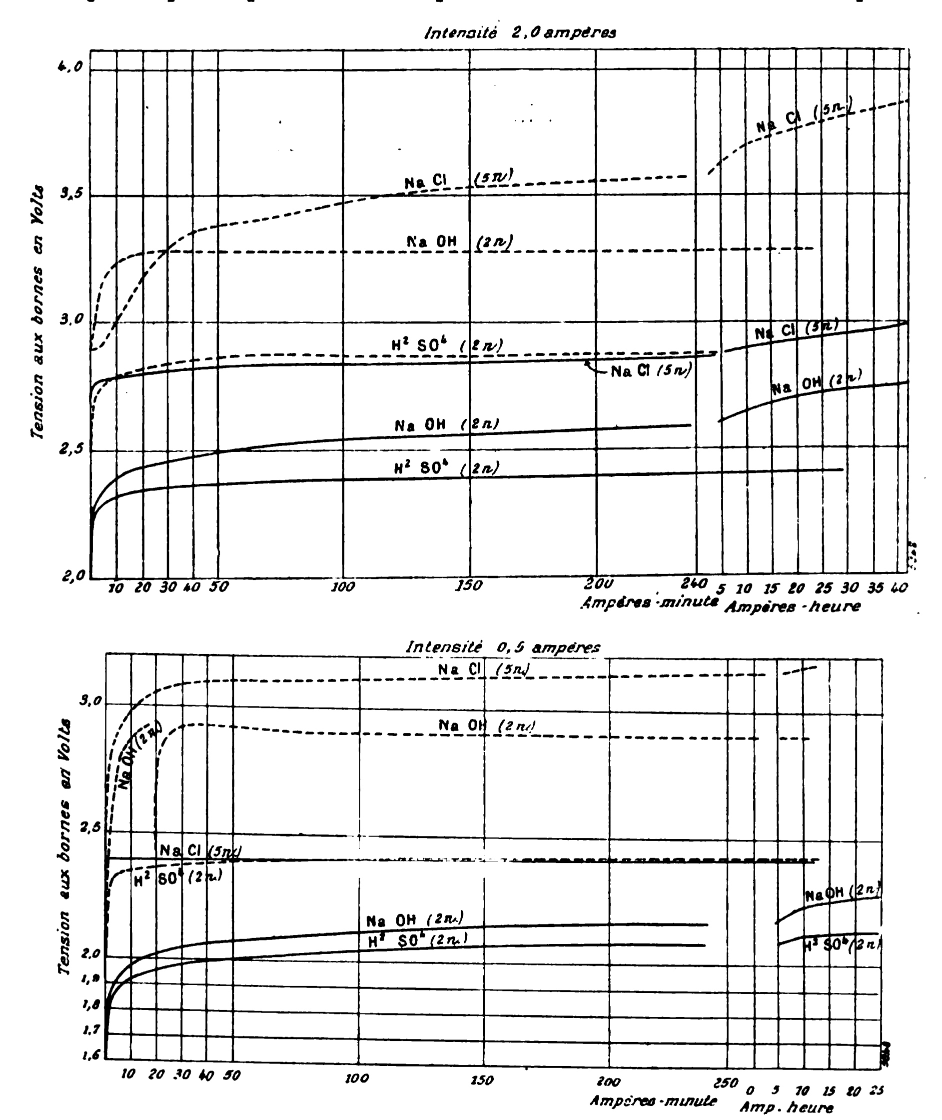


Fig. 3 et 4. — Influence du platinage sur la diminution de tension pendant l'électrolyse de solutions d'acide sulfurique, de soude et d'iodure de potassium alcalin. Traits pleins, anode platinée; traits ponctués, anode polie. 3. Grande densité de courant. 4. Faible densité de courant.

avec les faibles intensités de courant s'égalisent assez rapidement après ouverture du circuit pour qu'on obtienne toujours les mêmes valeurs de p (essai n° 16) malgré la tension croissante, ces valeurs étant d'ailleurs les mêmes que celles observées avec la densité de courant faible.

c. *Les phénomènes de l'anode polie.* — Dans l'électrolyse de la soude et de l'acide sulfurique la tension croît rapidement au début et atteint rapidement sa valeur constante par suite de la plus faible capacité de l'anode polie. Une différence essentielle avec l'emploi de l'anode platinée réside dans ce fait qu'après interruption on retrouve pour la tension immédiatement la va-



leur antérieure dans le cas de l'anode platinée, tandis qu'on n'obtient à nouveau cette valeur qu'après un long temps de passage du courant dans le cas dn l'anode polie.

A l'inverse de ce qui se passe avec la soude et l'acide sulfurique, la tension, pendant l'électrolyse du chlorure de sodium, n'atteint pas une valeur constante, mais continue à monter lentement, cette augmentation étant plus sensible avec la densité de courant plus élevée.

d. *La différence de tension entre l'anode polie et l'anode platinée.* — Des essais 16 à 19 et 21 à 28, on conclut que la différence de tension par l'emploi des deux sortes d'anodes, atteint les valeurs suivantes après passage de la même quantité d'électricité :

Pour la densité de courant 0,067 ampère par centimètre carré :

Après 8 ampères-heure, la différence atteint 0,46 volt pour l'acide sulfurique.
Après 8 ampères-heure, la différence atteint 0,755 volt pour la soude.
Après 10 ampères-heure, la différence atteint 0,82 volt pour le chlorure de sodium.

Pour la densité de courant 0,017 ampère par centimètre carré :

Après 11 ampères-heure, la différence atteint 0,308 volt pour l'acide sulfurique.
Après 10 ampères-heure, la différence atteint 0,665 volt pour la soude.
Après 11 ampères-heure, la différence atteint 0,75 volt pour le chlorure de sodium.

Pour l'acide sulfurique, cette différence reste constante avec le temps ; elle varie au contraire, pour la soude et le chlorure de sodium. Pour la soude, on a d'après les essais 23 et 24 :

Après	1 minute,	une différence de	0,72	volt.
—	20 —	—	0,92	—
—	60 —	—	0,86	—
—	240 —	—	0,76	—
—	11 heures	—	0,67	—

e. *Sur quoi repose la différence de tension entre l'anode polie et l'anode platinée ?* Le platinage de l'anode correspond à une augmentation de surface et par suite à une diminution de densité de courant et à une variation de concentration plus faible dans la solution entourant l'anode.

En supposant une différence de 0,6 volt, cela correspondrait à une concentration 10^{10} fois plus faible pour un ion monovalent. Aussi est-il probable que cette différence n'est duc qu'en partie aux variations de concentration.

L'auteur a étudié l'électrolyse dans le cas où il n'y a pas dégagement d'oxygène à l'anode. Il a pris une solution alcaline d'iodure de potassium ; on additionnait de chromate pour avoir un rendement presque théorique. Les conditions de l'essai étaient les mêmes que pour les essais 16 à 19 ; les cathodes étaient platinées.

Essai n° 30. — *Anode platinée.*

Temps depuis la fermeture du courant.	Tension aux bornes en volts.	p en volts.
L'intensité de courant était égale à 0,1 amp.; soit $D_A = 0{,}0033$ amp. par cm².		
0,5 minute	1,02	—
1 »	1,14	—
2 »	1,27	—
3 »	1,29	1,25
5 »	1,30	—
9 »	1,30	—
15 »	1,30	—
35 »	1,303	—
55 »	1,303	1,26
L'intensité de courant était élevée à 0,3 amp. ; soit $D_A = 0{,}01$ amp. par cm².		
0,25 minute	1,39	—
2 »	1,39	—
8 »	1,39	—
22 »	1,39	1,28
32 »	1,395	—
60 »	1,395	1,285
L'intensité de courant était élevée à 0,52 amp.; soit $D_A = 0{,}017$ amp. par cm².		
0,25 minute	1,475	—
3 »	1,475	—
7 »	1,477	1,30
22 »	1,477	1,30
Dans aucun cas on ne constatait de dégagement d'oxygène à l'anode.		

On voit que les différences de tension entre les deux anodes ne dépassent pas 0,07 volt, pendant que les valeurs de p ne diffèrent que de 0,04 volt au maximum.

La différence 0,07 volt indique que la concentration des ions-iode est plus petite d'environ une puissance 10 à l'anode polie qu'à l'anode platinée si on admet la même concentration pour l'iode libre en contact immédiat avec l'anode. Mais comme celle-ci doit être plus grande à l'anode polie, l'appauvrissement réel en ions-iode devient moindre dans ce dernier cas.

La différence 0,04 volt plus petite pour les valeurs de p s'explique par ce fait que, avec



ESSAI N° 31. — *Anode polie.*

TEMPS depuis la fermeture du courant.	TENSION aux bornes en volts.	p EN VOLTS.
L'intensité de courant était égale à 0,1 amp. ; soit $D_A = 0{,}0033$ amp. par cm².		
0,5 minute	1,08	—
1 »	1,24	—
2 »	1,34	—
3,5 »	1,34	1,30
5 »	1,34	—
11 »	1,345	—
45 »	1,355	1,305
80 »	1,36	1,305
18 heures	1,37	—
L'intensité de courant était élevée à 0,3 amp. ; soit $D_A = 0{,}01$ amp. par cm².		
1 minute	1,43	—
15 »	1,44	—
20 »	1,445	—
28 »	1,445	—
30 »	1,455	1,32
70 «	1,46	1,32
L'intensité de courant était élevée à 0,52 amp. ; soit $D_A = 0{,}017$ amp. par cm².		
0,25 minute	1,51	—
1 »	1,515	1,33
20 »	1,525	—
40 »	1,54	1,34

Dans aucun cas on ne constatait de dégagement d'oxygène à l'anode.

l'anode polie qui donne lieu à des différences de concentration plus grandes, l'égalisation se fait plus rapidement après ouverture du circuit.

En diminuant la concentration en iodure de potassium, des traces d'oxygène apparaissent à l'anode platinée pour la concentration 0,1 normale et il y a dégagement abondant pour la concentration 0,02 normale.

En faisant l'essai avec les deux anodes différentes sur la solution 0,1 normale d'iodure de potassium, normale en alcali, on trouve les valeurs suivantes (essais 32 et 33) relations à la densité de courant 0,0033 ampère par centimètre carré.

La figure 5 exprime les résultats des essais 30 à 33 ; les courbes en traits ponctués se rapportent à l'anode polie.

Ces essais prouvent clairement que la concentration des ions à l'anode doit être considérée comme plus faible dans le cas de l'anode polie que dans celui de l'anode platinée. Ils montrent, d'autre part, que les variations de concentration à l'anode ne permettent d'expliquer qu'une petite partie de la différence de tension trouvée entre l'anode polie et l'anode platinée. La plus grande partie est à attribuer ici au dégagement d'oxygène. Aussi la différence importante de tension n'existe-t-elle que lorsqu'il y a dégagement gazeux.

On peut attribuer cette partie la plus importante à la surélévation de tension due à l'oxygène et trouvée par Gaspari plus grande de 0,23 volt au maximum avec l'anode polie qu'avec l'anode platinée.

ESSAI N° 32. — *Anode platinée.*

TEMPS d'après la fermeture du circuit.	TENSION aux bornes en volts.	p EN VOLTS
0,5 minute	1,05	—
1 »	1,22	—
1,25 »	1,30	—
2 »	1,31	—
3 »	1,32	—
5 »	1,32	1,25
10 »	1,32	—
32 »	1,325	—
90 »	1,335	1,27
5 heures	1,34	1,28

Il ne se produit à l'anode qu'une trace d'oxygène.

ESSAI N° 33. — *Anode polie.*

TEMPS depuis la fermeture du circuit.	TENSION aux bornes en volts.	p EN VOLTS
0,25 minute	1,38	—
0,5 »	1,39	—
1 »	1,48	1,34
4 »	1,425	—
8 »	1,62	—
8,5 »	1,91	—
10 «	2,00	1,19?
13 »	2,04	—
15 »	2,065	—
22 »	2,09	—
35 »	2,105	—
65 »	2,13	—
100 »	2,135	1,06?

Après dix minutes, l'oxygène se dégage très nettement à l'anode et continue ensuite.

THÉORIE DE L'ÉLECTROLYSE DES SOLUTIONS NEUTRES DE CHLORURE DE SODIUM AVEC ANODE POLIE ET AVEC ANODE PLATINÉE.

Dans l'électrolyse des solutions neutres, exis-

tent à l'anode, à côté des ions-chlore les ions-hydroxyle. Les ions-hydroxyle en même concentration que celle relative à l'eau, nécessitent pour leur décharge le potentiel absolu — 1,56 volt.

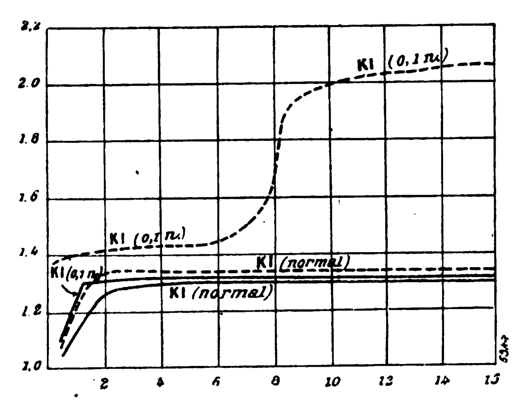


Fig. 5. — Expériences sur une solution alcaline d'iodure de potassium pour montrer que le platinage de l'anode correspond à une augmentation de surface. Traits pleins, anode platinée ; traits ponctués, anode polie.

La décharge du chlorure en solution normale et neutre atteint une vitesse perceptible pour — 1,59 volt. Les trois actions suivantes sont donc possibles

$$2\,\overline{Cl} + 2 + = 2\,Cl^2 \qquad (1)$$

$$\overline{Cl} + \overline{OH} + 2 + = HO\,Cl \qquad (2)$$

$$2\,\overline{OH} + 2 + = O + H^2O \qquad (3)$$

On a en outre

$$Cl^2 + H^2O \rightleftarrows \overline{Cl} + \overset{+}{H} + HO\,Cl \qquad (4)$$

L'équation (3) donne d'une part de l'oxygène gazeux, d'autre part, des ions-hydrogène à l'anode qui abaissent la concentration des ions-hydroxyle, de telle sorte que si le potentiel anodique reste invariable, cette action disparaît. Les deux conditions suivantes sont nécessaires pour l'obtenir :

A. S'il n'y a pas variation du potentiel anodique, il faut que la concentration des ions-OH dans le voisinage de l'anode s'élève suffisamment pour que, si une partie des ions-OH est déchargée à l'anode d'après l'équation (3) les ions-hydrogène restants soient aussitôt neutralisés.

B. Il faut élever suffisamment le potentiel anodique pour que la décharge anodique des ions-OH devienne possible malgré la diminution de concentration de ces ions, due à la présence des ions-H, Ce dernier cas peut arriver encore si la concentration des ions-chlore est suffisamment diminuée pour permettre une telle élévation du potentiel anodique.

Les actions 1, 2 et 3 peuvent alors se produire parallèlement à l'anode.

Pour l'électrolyse d'une solution concentrée et neutre de chlorure alcalin, la théorie ne permet de supposer que la condition A pour l'obtention de l'équation (3). Les quantités de chlore et d'acide hypochloreux provenant des équations (1) et (2) forment de l'hypochlorite avec l'hydrate alcalin venant de la cathode. Si cet hypochlorite vient dans le voisinage de l'anode, il diminue la concentration des ions-H provenant de l'équation (2) pendant que l'acide hypochloreux, à peine dissocié, devient libre ; c'est-à-dire que l'action (2) est favorisée et que l'équilibre de l'équation (4) est dérangé en faveur de l'acide hypochloreux.

Les processus anodiques donnent de plus en plus d'hypochlorite ; celui-ci fait augmenter la concentration des ions-hydroxyle à l'anode, et on réalise ainsi la condition A.

L'hypochlorite augmentant encore, l'équation (3) prend de plus en plus importance et il survient alors le dégagement d'oxygène à l'anode. La plus grande partie du courant est dépensée dans ce dégagement ; tout le courant serait ainsi dépensé si la concentration de l'hypochlorite ne se trouvait pas limitée par la formation du chlorate qui survient avec le dégagement d'oxygène.

Ainsi se passent les phénomènes lorsqu'on emploie l'anode platinée comme l'ont montré les essais 3, 7 et 8 et la figure 1.

Avec l'anode polie, il se produit immédiatement à l'anode un appauvrissement en ions-chlore. Mais alors, on réalise la condition B et l'action (3) devient perceptible. Bientôt l'oxygène se dégage et le potentiel anodique s'accroît.

Mais l'action (3) ne peut jamais se produire sans être accompagnée des actions (1) et (2). La production de l'hypochlorite augmente alors la concentration des ions-hydroxyle à l'anode et l'action (3) est favorisée de plus en plus.

On comprend ainsi que la courbe de dégagement d'oxygène soit plus élevée au début avec l'anode polie qu'avec l'anode platinée.

L. J.

Le Gérant : C NAUD.



Tome XXXIV Samedi 21 Mars 1903. 10e Année. — N° 12

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

LES DYNAMOS A COURANT CONTINU DE L'EXPOSITION UNIVERSELLE

S'il est devenu banal de dire que l'Exposition universelle de Paris a été, pour l'ingénieur et le constructeur électriciens, un champ fertile en enseignements, ce champ est tellement vaste que, même après les intéressantes monographies publiées par cette revue sous la signature de M. Reyval et réunies dans la suite par M. C.-F. Guilbert en un ouvrage sur *Les Générateurs d'Électricité à l'Exposition*, il reste encore à y glaner, et la pensée de La Bruyère : Tout est dit et l'on vient trop tard..., ne trouverait pas ici son application.

A côté de l'étude des dynamos à courant continu au point de vue de leur construction et de leur montage, il m'a paru utile de remonter à leur calcul en me basant sur les formules données par des auteurs aussi autorisés que Silvanus Thompson, Gisbert Kapp, Arnold, R.-V. Picou, Fischer-Hinnen, etc. et d'entreprendre sur ces machines une étude comparative du même genre, sinon avec le même succès, que celle de M. A. Rothert sur les alternateurs et publiée ici précédemment (1).

Le tableau ci-après (2) comprend 20 dynamos groupées d'après leur puissance en kilowatts. L'étude qui le suit a trait à l'application des formules courantes au calcul de leurs organes ; sur certains points mes observations ont également porté sur d'autres dynamos qui ne figurent pas dans le tableau, mais qui se trouvent également décrites dans l'ouvrage de M. Guilbert.

(1) *Éclairage Électrique*. t. XXIX, n° 48, 30 nov. 1901, pages 307 et suiv.

(2) Observations concernant le tableau, — I. Les machines sont désignées par un numéro d'ordre, les noms des

**



FLUX PAR POLE. — Le flux par pôle est la constante principale de laquelle dépendent les autres constantes et les dimensions d'une machine et en partie ses qualités.

La formule générale qui donne le flux dans l'induit peut être prise pour les divers genres d'enroulement, série, parallèle, série-parallèle

$$\Phi = \frac{E.\,60.\,10^8.\,a}{n.\,N.\,p.}$$

si l'on désigne toutefois par a, non pas la moitié du nombre de lignes de balais comme l'indique Fischer-Hinnen (ce qui peut amener une confusion pour les machines à enroulement en série-parallèle avec plusieurs lignes de balais réunies en série), mais la moitié du nombre de circuits en parallèle aux balais, a étant égal à 1 pour les induits bobinés en série, à p pour les enroulements en parallèle, plus grand, plus petit ou égal à p pour les enroulements en série-parallèle (1).

ENTREFER. — L'avantage des induits dentés est de permettre la réduction de la longueur de l'entrefer; quant à sa section, il n'existe pas de formule courante pour la calculer, mais elle diffère suivant les constructeurs.

Pour les induits lisses, elle est généralement prise égale à la surface du pôle. Pour les induits dentés, G. Kapp la détermine en prenant *la moyenne* entre la surface du pôle et la surface offerte par les saillies des dents sous le pôle, la longueur étant prise égale à la largeur du noyau y compris le papier isolant les tôles, non compris les évents ni les cales.

---

constructeurs n'étant pas cités ; le tableau comprend 10 machines de construction française dont 3 sont des modèles allemands et 2 des modèles américains, 2 machines belges, 2 hollandaises, 1 anglaise et 3 suisses. Les constantes et dimensions indiquées en caractères ordinaires ont été empruntées à l'ouvrage de M. Guilbert; les chiffres mesurés sur les dessins et ceux résultant de mes calculs sont imprimés en caractères gras, ceux plus ou moins incertains étant suivis d'un ?.

II. *Largeur du fer.* — Pour le noyau induit et les dents, j'ai pris comme largeur réelle du fer 90 p. 100 de la largeur du noyau, sous déduction des évents et des cales lorsqu'il y en a.

III. *Dents.* — Le pas des dents a été pris au fond des encoches; l'épaisseur indiquée au tableau est l'épaisseur au sommet; comme section j'ai pris le double produit : moyenne de l'épaisseur à la base et au sommet $\times$ nombre de dents sous le pôle $\times$ largeur réelle du fer.

IV. *AT par centimètre.* — J'ai pris la valeur des AT (ampèretours) par centimètre pour l'acier, la fonte et le fer sur les courbes d'Hopkinson.

V. *AT inverses et transversaux.* — La valeur des AT inverses (réaction d'induit) est indiquée en supposant les balais calés sous les cornes polaires, elle est donc maximum ; la valeur des AT transversaux calculée d'après la même hypothèse est par contre minimum.

VI. *Surfaces refroidissantes.* Pour les bobines inductrices j'ai compté la surface extérieure latérale seule : pour l'induit j'ai compté la surface extérieure de l'enroulement y compris les projections longitudinale et verticale des fils de chaque côté du noyau, la surface intérieure de celui-ci et la moitié de la surface des canaux de ventilation lorsqu'il y en a.

VII. *Notations employées.* — E, force électromotrice induite; I, intensité totale en ampères ; n, nombre de tours par minute ; N, nombre total de conducteurs à la périphérie ; N_2, nombre de segments du collecteur ; a, moitié du nombre de circuits en parallèle aux balais ; p, nombre de paires de pôles ; δ, entrefer simple ; D, diamètre extérieur de l'induit ; L, longueur totale de l'induit ; λ, rapport entre la longueur et le diamètre de l'induit ; b, longueur de l'arc polaire ; J, courant dans le fil de l'induit ; i, courant dans l'enroulement shunt ; $\mathfrak{B}_d$, $\mathfrak{B}$, inductions dans les dents et dans l'entrefer ; X_u' ampèretours nécessaires en charge pour l'entrefer, l'induit et les dents ; X_i, ampèretours inverses ; X_t, ampèretours transversaux ; W, perte en watts.

(1) En outre Fischer-Hinnen augmente la valeur de E, tension aux bornes plus chute ohmique, de 3 à 10 p. 100 pour tenir compte de la chute de tension due à la réaction d'induit. Au lieu de se donner une valeur *a priori* de cette chute de tension mieux vaut, suivant la méthode appliquée par G. Kapp dans ses *Constructions électromécaniques*, calculer la réaction transversale séparément et ajouter aux AT. trouvés primitivement pour l'induit, les AT supplémentaires qui sont nécessaires pour compenser la réaction transversale ; c'est cette méthode que j'ai suivie.

G. Dettmar, dont on connaît les recherches pratiques sur l'entrefer, évalue comme suit sa section. Soit D, δ, symboles connus, m le nombre de dents sous le pôle, n le nombre total de dents, a la largeur d'une encoche, on a pour la section de l'entrefer :

$$\left[\pi\left(D+\delta\frac{m}{n}\right)\right]-\left[m\left(a-\frac{\delta}{4}\right)\right]\times l,$$

formule dans laquelle

$$\pi\left(D+\delta\frac{m}{n}\right)$$

représente le développement de l'arc polaire au milieu de l'entrefer et

$$m\left(a-\frac{\delta}{4}\right)$$

les intervalles pris au milieu de l'entrefer, entre la projection oblique des dents sous le pôle, et où la densité des lignes de force atteint une valeur très réduite [1].

En outre de la section de l'entrefer calculée d'après la surface du pôle pour les dynamos à induit lisse, soit d'après la formule moyenne ou la formule de Dettmar pour celles à induit denté, il y a lieu de tenir compte de la dispersion des lignes de force qui se répandent à droite et à gauche des pôles et dont l'effet est par suite d'augmenter la section de l'entrefer.

Tandis que G. Kapp et divers auteurs n'attachent qu'une faible importance à cette dispersion et augmentent simplement la section de l'entrefer sous le pôle de 10 à 15 p. 100, Fischer-Hinnen donne une formule permettant de la déterminer exactement. Sa valeur est

$$K=\frac{1}{1+\left[1+\frac{K'}{b}\times\frac{4,6\,\delta}{\xi}\log.\left(1+\frac{\xi c}{\delta}\right)\right]}$$

dans laquelle δ est l'entrefer, mesuré évidemment sous les becs polaires l'orsqu'ils sont relevés, $\xi=\frac{\pi\times\text{arc polaire}}{180}$ et c égal à la moitié de l'espace interpolaire. K' est pris égal à l'unité pour les induits lisses ; pour les induits dentés, il représente une dispersion nuisible dans les encoches d'après une table empirique donnée par cet auteur suivant la longueur de l'entrefer et la largeur des encoches [2].

Le coefficient de cette dispersion varie de 0,84 mm à 0,96 mm, la première de ces valeurs se rapportant à deux machines à grande multipolarité, par suite à arc d'embrassement réduit, la seconde à une machine à 4 pôles avec un arc d'embrassement de 59°.

J'ai indiqué également le rapport entre les AT nécessaires pour l'entrefer à pleine charge et ceux pour le circuit magnétique total ; ce rapport varie entre 0,42 mm et 0,84 mm, les valeurs les plus élevées se rapportant à des induits lisses ; il est en moyonne de 0,70 mm à 0,80 pour les induits dentés.

Encoches. — Les induits à trous sont à l'heure actuelle complètement abandonnés et

---

[1] Sans vouloir apprécier le mérite de ces deux formules, je les ai appliquées toutes deux aux induits dentés du tableau pour le calcul de la section de l'entrefer et de l'induction correspondante ; pour le calcul de AT j'ai pris l'une ou l'autre, suivant qu'elle me conduisait le mieux à la somme de AT par circuit magnétique indiquée par le produit 2 *im*, l'induction choisie a été marquée d'un (*).

[2] Comme je me suis servi d'autres formules que cet auteur pour le calcul de l'entrefer, j'ai pris partout K' = 1.

		NUMÉR								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Puissance en kilowatts		30	36	50	55	65	65	75	100	100
Tension aux bornes en volts		125	120	180	125	500	125	550	500	220
Intensité en ampères		240	300	280	440	130	520	136	200	455
Tours par minute		425	750	400	600	600	550	160	500	420
Kilowatts : tours par minute		0,0705	0,048	0,125	0,0915	0,1082	0,118	0,468	0.2	0
Fréquence (périodes par seconde)		35,4	25	26,7	20	20	18,3	8	25	21
Inducteurs										
Nombre de pôles		10	4	8	4	4	4	6	6	6
Carcasse. Nature du métal		Fonte	Acier	Acier doux	Acier	Acier	Fonte	Acier	Acier	Aci
Carcasse. Diamètre extér. et intér	cm	120 — 101	101,3--81,3,	104 — 90	113 — 94	114 — 98	130 — 105	189 — 164	?	140 —
Carcasse. Largeur suivant l'axe	cm	27	18	42	26	50	42	38	?	51
Carcasse. Section	cm²	162	180	185	230	350	460	340	?	350
Carcasse. Long. des lignes de force	cm	39	75	30	80	80	90	90	?	66
Carcasse. Induction	10³	4.15	11,8	11,4	13,8	12,8	8,75	13.5	?	8.
Carcasse. AT par centimètre		5.8	5,7	4,15	10,3	7.3	73	9,1	?	2
Noyaux. Nature du métal		Acier	Acier	Acier	Acier	Acier	Fonte	Acier	Acier	Aci
Noyaux. Les noyaux sont		Rapp.	V. de f.	V. de f.	Rapp.	V. de f.	V. de f.	Rapp.	?	V. d
Noyaux. Dimensions suiv. l'axe	cm	D = 12	18	30	D = 34	31	32	D = 31	D = 22,5	D =
Noyaux. » perp. à l'axe	cm		15	14		23	32			
Noyaux. Section	cm²	113	270	360	450	715	1 024	755	400	415
Noyaux. Long. des lignes de force	cm	25	24	20	38	40	42	55 ?	?	52
Noyaux. Induction	10³	11,8	15,4	11.7	14,1	12,6	7.85	12,1	13.5	13.
Noyaux. AT par centimètre		5,7	23	5,57	11,8	6,85	46	6,07	9.3	9.
Epanouiss. Nature du métal		Acier	Fer	Acier	Acier	Acier	—	Acier	Acier	Tôles f
Epanouiss. Les épan. sont		V. de f.	Rapp	Rapp	V. de f.	Rapp	—	V. de f.	?	Rap
Epanouiss. Avec ou sans fentes		Sans	Sans	Avec	Sans	Sans	—	Sans	Sans	San
Epanouiss. Dimensions suiv. l'axe	cm	17	18	30	32	32	—	37	27	28
Epanouiss. » perp. à l'axe	cm	16	30	18	25,5	31	—	38	29,5	24
Epanouiss. Section	cm²	272	540	540	816	990	—	1 400	780	672
Epanouiss. Long. des lignes de force	cm	3	6	4,8	8	7	—	8?	?	5,
Epanouiss. Induction	10³	4,95	7,7	7,8	7,8	9,1	—	6,5	6,9	8,
Epanouiss. AT par centimètre carré		1,6	1,475	2,5	2,5	3,15	—	1,92	2,5	1,
Pas polaire		23	35,2	24	37,7	40,45	48,7	53,3	37,1	34,
Embrassement : pas		0,7	0,85	0,83	0,715	0,77	0,66	0,71	0,795	0,
Espace interpolaire		7	5	6	12,2	9,5	15	15,3	7,5	10,
Arc d'embrassement des pôles		25°	77°	34°	61°	69°	59°	43°	48°	41°
Diamètre d'alésage des pôles		73,3	44,8	61,2	48	51,5	62	101,8	70,6	66,
Nature de l'enr. inducteur		Shunt	Shunt	Shunt	Shunt	Shunt	Shunt	Shunt	Shunt	Shu
E. shunt. Nombre de bobines et de spires		10 × 1 100	4 × 1085	8 × 580	4 × 1 500	4 × 4420	4 × 620	6 × 2550	6 × 2400	6 × 1
E. shunt. Section du fil	mm²	2,83	3,8	3,8	6,6	1,76	9,08	3,14	2,54	4.
E. shunt. Nombre de circ. en parall		1	1	1	1	1	1	1	1	1
E. shunt. Résist. du circ. à chaud		36	24	22,5	19,68	250	10	113	130	33
E. shunt. Densité de cour. en amp.		1,06	1,31	2,1	0,71	1,19	?	1,12	1,5	1,
E. série. Nombre de bobines et de spires		—	—	—	—	—	—	—	—	—
E. série. Section du fil	mm²	—	—	—	—	—	—	—	—	—
E. série. Nombre de circ. en parall		—	—	—	—	—	—	—	—	—
E. série. Résist. du circ. à chaud		—	—	—	—	—	—	—	—	—
E. série. Densité de cour. en amp		—	—	—	—	—	—	—	—	—
Entrefer. — Longueur simple	mm	6,5	5,5	6	5	7,5	5	9	8	6
Section. Form. moyenne	cm²	190	550	392	622	766	731	924	531	482
Section. Form. Dettmar	cm²	124	—	272	517	635	504	826	340	348
Induction. Form. moyenne	10³	5,1 (*)	6,2	8 (*)	8,3	9.35	9,9 (*)	7,5 (*)	8 (*)	8,
Induction. Form. Dettmar	10³	7.75	—	11,25	9,8 (*)	11,3 (*)	14,4	9,3	12,4	12,
Coefficient de dispersion		0,84	0,95	0,85	0,89	0,92	0,96	0,886	0,9'5	0,
Pour 100 de l'exc. totale		0,80	0,84	0,83	0,69	0,74	0,42	0,62	0,58 ?	0,
Induit										
Diam. extérieur	cm	72	43,7	60	47	50	61	100	69	65
Noyau. Const. de prédéterm		10,8	9.05	8,95	9,4	9,05	10,03	8,85	8,15	7,
Noyau. Longueur totale	cm	17	18,5	30	32	32	32	32	23	28
Noyau. Rapp. entre la long. et le diam		0,236	0.424	0,5	0,68	0,64	0.54	0.32	0.33	0,
Noyau. Largeur réelle du fer	cm	14,9	16,2	26,5	28	27	28,5	25,5	20,7	21,
Noyau. Hauteur radiale des tôles	cm	7,5	9	8	10,5	11,5	12,25	16	11	13
Noyau. Section réelle du fer	cm²	180	278	330	470	475	580	620	315	456
Noyau. Long. des lignes de force	cm	19.5	27,25	19,7	19	28	37	42	29	26
Noyau. Induction	10³	6.4	12.9	11	12.1	16,4	13	12,65	14.8	10,
Noyau. AT par centimètre		1,15	4.95	3	3,9	48	5,1	4,57	10,6	2,
Noyau. Vitesse circonf. en m : sec		16	18,5	12,6	14,7	15	17,5	8,4	18	14,
Enc. Forme des encoches		Ouverte	I. lisse	Ouverte	Ouverte	Ouverte	Ouverte	Ouverte	Ouverte	Ouve
Enc. Nombre d'encoches		161	—	128	116	55	98	230	110	112
Enc. Profondeur et largeur	mm	15 × 8,5?	—	18 × 8	22 × 6	27 × 13	21 × 10?	38 × 8,1	34 × 12	26 ×
Enc. Section des encoches	cm²	164 ?	—	295	384	451	523?	721	414	28



S DYNAMOS

10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
5	200	200	200	225	331,2	350	350	400	500	682,5
0	550	350	550	550	230	230	525 — 575	250	550	250
0	365	572	364	410	1 440	1 520	610	1 600	910	2 730
0	370	360	125	280	90	110	(95) — 90	71	(100) — 95	120
0.294	0,54	0.555	0,975	0,803	3,68	3,18	3,88	5,63	5,27	5,69
3	12,3	24	10,4	23,3	6	9,2	6	5,9	6,33	14
6	4	8	10	10	8	10	8	10	8	14
cier	Acier	Acier	Fonte	Fonte	Acier	Acier	Acier	Acier	Acier	Acier
— 135	199 — 165	164 — 145	260 — 230	213—185,2	280 — 246	338 — 281	312,6 — 257	370	343 — 290	348
— 30	44	32	50	41,5	73,5	45	60	35	64	41
0	720	290	675	460	1 150	600	1 100	805	1 230	650
4	140	62	79	67	105	90	120	70	130	70
1.5	13,4 — 14	14,3	6,6	7,2	11	13,4	10,1 — 12.5	11,9	10,5 — 11	14,5
1,85	8,8 — 11,3	13	19	30	4,75	8.8	3,85 — 7,07	5,82	4,22 — 4,75	13.8
cier	Acier	Acier	Fonte	Acier	Acier	Acier	Acier	Acier	Acier	Acier
de f.	Rapp.	V. de f.	V. de f.	Rapp.	Rapp	Rapp.	Rapp.	Rapp.	Rapp.	V. de f.
=25,5	D = 42,5	32	30	23	51	D = 36	45	33	D = 51	41
		17,6	37,5	22	33		42	46		32
0	1 420	564	1 125	506	1 680	1 020	1 850	1 520	2 040	1 310
4	52	36	58	29	86	73	88	11	97	44
1.4	13.6 — 14.2	14.7	7,9	13,2	15	15,8	12 — 14.8	12,6	12,7 — 13,4	14,4
1.8	9.5 — 12,3	16	47	8.3	18	30	5.95 — 16,05	6.85	7,07 — 8,8	13,8
feuil.	Acier	Acier	—	Acier	Acier	Acier	Acier	Acier	Acier	Acier
app	V. de f.	Rapp	—	V. de f.	V. de f.	V. de f.	V. de f.	V. de f.	V. de f.	Rapp
ans	Sans	Sans	—	Avec	Sans	Sans	Sans	Sans	Sans	Sans
9	48	35	—	35	51	40	62	33	58	49
5	60	31	—	34	48	45	52	78	58	48
5	2 880	1 085	—	1 140	2 450	1 800	3 150	2 575	3 360	2 350
)	8	7,4	—	5	7.4	7,4	8	16	9	10,8
)	6.7 — 7	7,6	—	5,85	10,3	8,9	7 — 8,7	12,6 — 7,5	7.7 — 8.1	8
1.9	1,98 — 2,1	2,4	—	1,77	4,05	3,05	2,1 — 2,95	3.8	2,45 — 2,65	2,6
)	80	39,9	53,9	47,85	60,7	63,3	63.5	8,95	72,5	57
0,67	0,75	0,78	0,7	0.71	0,79	0,71	0.82	0.85	0,8	0.8
)	20	9	16,38	13,85	12,8	18,3	11,5	11.5	14,5	8,9
°	67°	35°	25°	25°30′	36°	25°30′	37°	31°	36°	21°40′
,5	102	101,6	171,6	152,4	154,62	201,6	161,8	285	184.8	253,8
unt	Compound	Shunt	Shunt	Shunt	Shunt	Shunt	Compound	Shunt	Compound	Shunt
2675	4 × 3200	8 × 973	10 × 1000	10 × 1600	8 × 680	10 × 675	8 × 1 214	10 × 729	8 × 1 540	14 × 486
,83	3,14	5,72	8,04	3,14	22,9	15,9	4,5	22	5,72	24,6
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	142	33	38	110	10	11,6	96	8,2	91	9,75
,41	0,75	1,31	1,43	1,6	1	1,13	1,31	1,39	1,05	1,04
—	4 × 3,5	—	—	—	—	—	8 × 12,5	—	8 × 9,5	—
—	340	—	—	—	—	—	360	—	600	—
—	1	—	—	—	—	—	1	—	1	—
—	0,018	—	—	—	—	—	0,00144	—	0.0046	—
—	1,07	—	—	—	—	—	1,7	—	1,52	—
,5	10	8	8	12	11,1	8	9	10 (18)	9	18
	2 212	822	830	872	1 790	1 437	2 215	2575	2 608	2350
	2 115	713	600	855	1 370	1 182	1 484	—	2 040	—
,2	7,8 — 8,1	7,8	8,35	5.9	11,05 (*)	8,75	8,25 — 9.8 (*)	6,4	8.25 — 9.1	6
,4 (*)	8,2 — 8,5 (*)	9 (*)	14.5 (*)	6,05 (*)	14.45	10.6 (*)	12.9 — 14,6	—	10,5 — 11.6 (*)	—
.856	0.935	0.92	0,86	0,83	0.9	0,87	0,915	0,937	0.92	0,9
,77	0,76	0,8	0,66	0,73	0,64	0,65	0.6	0.84	0,7	0,83
	100	100	170	150	152,4	200	160	283	183	250,2
,8	9,55	8,5	8,3	10	6,85	7,48	7,35	7,6	6,7	7,95
	47,5	36	30	35	50,8	40	60	35	56	51
,355	0,475	0,345	0,18	0,234	0 33	0,185	0.375	0,12	0,28	0,2
,5	42.75	31	24,3	31,5	41.4	33,5	49,5	32	46	45
	20,5	15,5	21,5	13	29,2	24	21	21,5	24,5	15,6
	1 750	732	820	724	2 000	1 250	1 634	1 375	1 830	1 400
	60	26	37	43	38	58	44	67	50	44
.75	10.6 — 11	9,8	9,8	8.65	11	11,5	12,2 — 14.6	12,8	12.9 — 14,1	11,4
.28	2.76 — 3	2,3	2,3	1,72	3,16	3,4	3,8 — 8,7	4.8	4,95 — 8.7	3.32
.5	19,4	18,8	11,1	22	7,2	11,5	7,55	10,5	9,1	15,7
rte	Ouverte	Ouverte	Ouverte	Ouverte	Ouverte	Demi-fer.	Ouverte	Lisse	Ouverte	Lisse
	240	214	168	387	184	224	208	—	176	—
13 ?	26 — 6 ?	37 × 7	46 × 15	15 × 6,5 ?	50,8 × 12,7	53 × 13 — 10	45 × 14	—	46 × 12,2	—
?	1 307 ?	510	531	635 ?	1 19!	594	1 808	—	1 105	—

		NUMÉR								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Dents.	Pas des dents . . . . mm	13,48	»	13,84	11,53	25,5	18,2	12,62	17,76	17,
	Epaisseur des dents . »	5,56	»	6,65	6,7	15,56	9,56 ?	5,55	7,7	9.
	Section réelle . . . . cm²	90	»	200	350	410	415 ?	357	212	240
	Nombre de dents sous le pôle.	11,38	»	12,28	20	10,85	16,36	27,84	15	13.
	Induction apparente . . 10^3	12,8	»	18	16,3	19	18,2 ?	22	22	20
	» réelle . . . . 10^3	12,8	»	17,75	16,25	18,75	18 ?	21	21	19,
	AT par centimètre.	4,8	»	117	43	192	133	280	466	259
Enroulement.	Nature de l'enroulement . .	T. m. sér.	T. m. par.	T. m. par.	T. m. s.-p.	T. m. sér.	T. m. s.-p.	T. m. sér.	T. m. sér.	T. m.
	N. total de cond. à la périph.	322	280	768	232	330	196	920	440	448
	N. de cond. par encoche. .	2	»	6	2	6	2	4	4	4
	N. de sections	161	140	128	116	165	98	460	220	224
	N. de spires par section . .	1	1	3	1	1	1	1	1	1
	Sect. des barres induites mm²	40	16	6,9	32,4	20	47,78	21,5	38	32
	Densité de courant en amp.	3	4,7	4,93	3,4	3,25	2,72	3,16	2,63	3,
	Résist. de l'induit à chaud.	?	0,012	0,016	0,009	0.07	0,0205	0,2	0,046	0.
	Nombre de circ. en parall.	2	4	8	4	2	4	2	2	4
	Chute ohmique.	5 ?	3,85	4,6	4,12	9,24	11	26,7	10	6,
Collecteur.										
	Nombre de segments	161	140	128	116	165	98	460	220	224
	Tension entre deux segm. volts.	7,8	3,43	13,75	4,3	12,6	5,1	7,17	13,63	5.
	Diamètre du collecteur . mm.	47	40	36	23,6	32	25	63,5	50	50
	Largeur utile. . . . . . »	5	13	18	23	22	16	15	13	17
	Vitesse circonf. en m : sec. . .	10,5	15,8	7,5	7,4	10	7,2	5,3	13	11
	Constante d'Arnold	0,0455	0,0576	0,028	0,0476	0,062	0,044	0,06	0.06	0,
	Constante de Rothert . . 10^{-6}	25,7	24	6	20	23	2	8	11,4	9,
	Flux dans l'induit . . . . 10^6	1,15	3,6	3,6	5,7	7,8	7,58	7,84	4,65	4,
	Dispers. entre pièces pol. 10^6	0,0257+0,55	0,13+0,29	0,065 + 0,27	0,104+0.274	0,165+0,44	»	0,195+0,42	?	0.115+
	» » noyaux . . 10^6	0,047+0,061	0,06+0,09	0.068+0.214	0,12 + 0.152	0.21 + 0.38	0,195+0,285	0,295 + 0,4	?	0.173+
	Flux de dispersion total . 10^6	0,189	0,57	0,617	0,65	1,195	0,48	1,31	?	0
	Flux dans l'inducteur . . 10^6	1,34	4.17	4,217	6,35	9	8,06	9,45	5,4 ?	5.
	Coefficient de dispersion . . .	1,16	1,16	1,17	1,11	1,15	1,06	1,17	1,16 ?	1
AT par circ. magnétique.	Carcasse.	226	427	125	824	584	6570	819	?	175
	Noyaux polaires	143	552	111	449	274	1932	334	?	515
	Epanouissements.	5	9	12	20	22	»	15	?	10
	Joints.	20	74	56	66	60	»	65	?	39
	Entrefer.	5 300	9 920	7 680	7 840	13 560	7 920	10 800	10 200	11 712
	Dents	14	»	421	189	1 037	558	2 888	2 584	1 347
	Noyau induit.	23	135	59	75	1 344	188	192	307	70
Réaction d'induit.	AT inverses max.	1 090	658	838	1 944	1 137	2 115	2 856	1 349	2 500
	AT transvers. min. . . .	2 775	4 592	2 567	4 436	4 225	4 255	7570	5 984	5 993
	$\mathfrak{B}_d$ apparente min. . 10^3	6,3	B_e 3,4	»	8,7	16,3	11,3	14,2	16,2	12
	» moyen . 10^3	13	6.5	18	17	19,2	18,9	22,6	22,5	20
	» max . . 10^3	18,6	8,15	»	21,8	21	22,5	27	25,8	25
	AT supplém. compens . .	57	350	»	506	309	506	830	466	404
	AT par cm périph. induit.	170	153	138	173	136	133	200	203	250
	» entrefer. . . .	335	340	421	321	440	247	293	356	490
	Rapport 1,6 $\mathfrak{B}_e$ δ : b.AS. .	1,97	2,21	3,05	1,86	3,23	1,86	1,46	1,75	2
	AT de l'induit par circ. magn.	3 865	5 250	3 405	6 380	5 362	6 370	10 426	7 333	8 493
	AT des inducteurs à vide . . .	5 940	9765	8 000	10 800	17 680	?	12 750	13 440	14 50
	» en charge .	6 600	10 850 ?	9 338	14 100	18 564	?	17 850	18 240	17 64
	Courant d'ex. en amp. à vide. .	2,7	4,5	6,9	3,6	2	?	2,5	2.8	
	» » en charge.	3	5 ?	8,05	4,7	2,1	?	3,5	3,8	
Zone active.	Densité brute de courant.	114	153	79	78	50.5	63	52	59	9
	Induction magn. brute. 10^3	3	6.56	5,1	4,9	7,2	5,1	4,68	5.6	5
	Puiss. volum. watts : dm³	5.45	18.5	5.08	5,6	5,47	5,65	2,05	2.82	6
Pertes d'énergie.	Dans le fer induit. watts	1 000	920	1 100	1 800	2260	2 100	2 200	2 700	2 00
	» en p. 100	3,34	2,55	2,2	3.25	3,47	3,85	2,93	2,7	
	Effet Joule induit. watts	?	1 080	1 340	1 740	1 050	550	3 700	1 840	2 80
	» en p. 100	?	3	2,68	3,17	4,6	0,85	4,95	1,84	
	Effet Joule induct. watts	325	600	1 450	450	1100	?	1 390	1 900	1 32
	» en p. 100	1,08	1,72	2.9	0.82	1,69	?	1,85	1.9	
Echauff.	Induit : surf. refroidis. dm²	158	78	150 ?	130	114	120	430	?	23
	» watts par dm²	?	25,5	16.2 ?	27	30	22	13,5	?	2
	Electros : surf. refroidis. dm²	24	56	88	90	170	117	136	?	17
	» watts par dm²	13,5	10.7	15,9	5	6,47	?	10	?	
Poids.	Tôles induites. . . . . kg	125	145	230	230	250	370	690	250	3
	» par kw : tm	2 025	2 540	1 840	2 720	2 290	3 120	1 470	1 240	1 3
	Cuivre. Induit. . . . kg	?	29,5	36	70	54	99	180	115	10
	Cuivre. Inducteurs . kg	125	153	150	350	300	325	498	325	3
	» par kw : tm	?	3810	1 490	4 600	3 275	3 600	1 450	2 200	1 5

S DYNAMOS

10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21.3	12,4	13,6	30.1	11.93	24.27	26.41	22.8	»	31	»
9.9 ?	7,09 ?	7.68	16,77	5,67 ?	13.3	18,05	10.15	»	20.45	»
140 ?	1 322 ?	570	435	490 ?	950	835	1 010	»	1 575	»
11.35	45,83	21.11	11.8	27,93	18,46	16.04	21,53	»	17.76	»
23.5 ?	14 — 14,5	12,3	17.7	12.75 ?	23,25	17,3	19,8 — 23,5	»	14,8 — 16,3	»
22.4	» — 14,45	12.3	17,55	12,75 ?	23.25	17,2	19.3 — 22.35	»	» — 16,25	»
568	7 — 8,175	4.1	105	4.73	550	80	231 — 560	»	10.6 — 44,5	»
m. sér.	T. m. s.-p.	T. m. s.-p.	T. m. sér.	T. m. s.-p.	T. m. par.	T. m. par.	T. m. par.	T. m. s.-p.	T. m. par.	T. m. par.
398	480	428	672	774	736	896	832	1 250	1 408	812
4	2	2	4	2	4	4	4	»	8	»
199	240	214	336	387	368	448	416	625	704	406
1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1
48	30,8	63	90	30	77,5	60	24,8	48,75	42	75
2,81	2,96	2,27	2,02	3,42	2,32	2,53	3,07	3,3	2,7	2,6
0,038	0,034	0,0075	0,035	0,036	0,00425	0.0034	0,03	0,005	0,018	0,0018
2	4	4	2	4	8	10	8	10	8	14
10.4	19,1	4,5	13	15	6,1	5,52	19,3	8,11	21	5,15
199	240	214	336	387	368	448	416	625	704	406
15	9,18	13,1	16.4	14,2	5	5.14	10	4.1	6,26	8,6
55	58	55	107	88	106,7	150	120	200	160	160
20	20	25	19	9,5	25,4	30	23	20	30	18,5
13.25	11,2	10,35	7	12,9	5	8,6	5,66	7.5	8	10
0,043	0,054	0,041	0,037	0.049	0,037	0,04	0,057	0,0395	0,046	0,036
9.4	11,3	1,3	4	6,3	3,76	3,6	7,9	2,5	3,1	3,1
5,6	18,58 — 1925	7	8,05	6.25	22	14,4	20 — 23,84	17,6	23,4 — 25,65	16
+0,33	0,192 + 0,38	0,16 + 0,48	»	0.038 + 0.17	0,38 + 0·22	0,19 + 0,38	0,31 + 1,13	0,53 + 0,64	0,39 + 1,13	0,41 + 1,4
+0.424	0,009 + 0,287	0,35 + 0,31	0,02 + 0,85	0,009 + 0,18	0,84 + 1.9	0,47 + 0,63	0,8 + 1,33	0,196 + 0,14	0,89 + 1,34	0,34 + 0,69
1.24	0,7 — 0,868	1,3	0,87	0,397	3,34	1,67	2,32 — 3.57	1.506	2,5 — 3,75	2,84
6,84	19,28 — 20.12	8.3	8.92	6,65	25,34	16,07	22,32 + 27,41	19,16	25,9 — 27,15	18,84
1,22	1,035 — 1,045	1,185	1.11	1,065	1.15	1,11	1,11 — 1.15	1,09	1,11 — 1,16	1,175
41	1 232 — 1 582	806	1 500	2010	499	792	462 — 848	407	548 — 618	1 015
75	494 — 640	576	2 726	241	1512	2 190	523 — 1452	75	686 — 853	607
11	16 — 17	18	»	9	30	23	17 — 24	61	22 — 24	28
64	64 — 67	71	»	35	53	64	48 — 60	57	48 — 53	69
16,080	12480—12960	11 520	14 720	11 616	19 625	13 568	11880 — 14115	18 500	15200—16700	17 280 ?
2,954	36 — 45	30	986	14	5 585	848	2079 — 5040	»	408 — 409	»
66	165 — 180	60	85	74	114	197	167 — 383	322	248 — 362	146
2,930	2 582	1 608	3 644	2 221	3 310	3 950	1 364	2 500	3 860	1 652
6.070	8 368	6 042	8 586	5 712	13 250	9 670	6 566	17 500	16 160	9 334
18.9	» — 6	6	9,7	6.6	15.6	8	» — 19,5	B_e { 1.4	» — 5	B_e { 2,85
24	» — 1,52	12,5	18,4	12.76	23.8	18,3	» — 24	7,3	» — 18,2	6,05
27,8	» — 20,9	17,8	23,2	19	28,7	23,1	» — 26,4	9.3	» — 22,4	9,05
37	— 600	250	1 000	»	1 553	1 557	900	2 785	3 750	145
35	139	194	230	168	276	248	126	225	278	201
37	225	380	408	341	418	319	277	270	366	362
2.7	1,62	1,96	1,77	2,03	1,51	1,46	2,2	1,2	1,32	1,8
00	10 950	7 650	12 230	7 933	16 650	13 620	7 930	20 000	20 020	11 310
85	14 400	12 065	?	12 800	?	18 900	12 625	16 038	16 324	19 400
00	17 680	14 595	23 000	16 000	31 280	24 300	29 575	24 786	35 770	24 700
3,1	2,25	6,2	?	4	?	14	5,2	22	5,3	20
4	2,36	7,5	11,5	5	23	18	5,9	30,5	6	25,5
00	53	53	49	112	54	41	28	225	60	201
4.9	5,2	4,95	5,05	3.8	7,5	5,73	7,3	5,7	5.8	5,6
7,7	5,32	4,95	2,73	9,35	2,93	2.7	1,537	13.4	3,07	17,7
00	6 200	5 500	2 000 (?)	7 800	5 800	8.900	8 000	12 300	10 200	16 600
2,22	3,1	2.75	1	3.45	1,51	2,55	2,28	3,07	2,05	2,4
00	4,600	2 450	4,500	6 100	5 300	7 800	11 200	12 800	14 900	13 500
2.07	2,3	1,22	2,25	2,71	1,6	2,23	3.2	3.2	2.98	1,97
00	1 300 + 400	1 860	5 000	2 750	8 800	3 750	3 450 + 4 500	7 600	3 300 + 3 800	6 400
1,42	0,95	0,93	2,5	1,22	2,7	1,07	2,27	1,9	1,42	0,94
00	470	350	550	650	?	1 080	?	1 400	?	1 280
10,6	23	8.5	11,8	21.5	?	15,5	?	18	?	22
00	200	230	400	192	700	520	?	620	640	532
20	8.5	8	12,5	14,3	12,6	7,2	?	12,25	11	12
15	1 560	880	1 720	1410	3 270	3 070	3 000	4 240	3 500	3 960
00	2 900	1 585	1 760	1 750	890	965	775	750	665	700
45	240	220	?	240	?	600	600	250	920	871
00	600 + 100	520	1 100	520	?	1 300	840 + 688	1 700	1 040 + 760	2 870
00	1 745	1 335	?	945	?	600	550	370	517	657

les encoches ouvertes semblent de plus en plus préférées aux encoches demi-fermées; l'ouvrage de M. Guilbert ne comprend que 2 dynamos avec rainures de cette dernière forme sur 34 machines à induits dentés.

Le rapport entre la profondeur et la largeur des encoches varie suivant les constructeurs et l'enroulement de l'induit. Il est regrettable que les monographies qui m'ont servi de base ne donnent pas les dimensions des encoches pour toutes les machines. Pour 5 dynamos du tableau avec induit bobiné en série, le rapport entre la profondeur et la largeur des encoches est compris entre 2,08 et 4,15 mm ; pour 9 machines avec enroulement en parallèle il est compris entre 3,7 mm et 5 cm.

De même le rapport entre la longueur de l'entrefer et la largeur des encoches diffère suivant les constructeurs ; les uns font les encoches plus larges, les autres l'entrefer plus grand. En un mot, on ne peut déduire aucune règle fixe pour les proportions à observer entre la largeur des encoches et leur profondeur, ni entre cette largeur et la longueur de l'entrefer.

Induction magnétique. — Pour les 20 machines du tableau les inductions moyennes sont comprises entre les valeurs suivantes, celles données pour l'entrefer, le noyau induit et les dents étant calculées d'après la formule usuelle Φ : S, abstraction faite de la distorsion du champ.

Entrefer		5 000 à 13 400
Noyau induit		6 400 à 16 400
		(en moyenne 9 500 à 13 000)
Dents (ind. app.)		12 300 à 23 500
Carcasse inductrice	en fonte	4 100 à 8 700
—	en acier	8 000 à 14 300
Noyaux polaires	en fonte	7 850
—	en acier	11 500 à 15 600
Epanouissements polaires	en fonte	7 300 à 9 400
—	en fer	7 700 à 9 000
—	en acier	4 800 à 10 300

L'induction dans l'entrefer n'offre d'intérêt que pour le calcul des AT ; par contre l'induction dans le noyau induit ne doit pas être trop élevée, surtout lorsque la longueur de l'entrefer est faible, pour ne pas augmenter les pertes dans le fer.

Mais la plus importante de toutes est l'induction dans les dents, dont l'épaisseur, d'après certains auteurs, ne devrait même être limitée que par la résistance mécanique.

Suivant M. Rothert [1], une forte saturation des dents, lorsqu'on fait les encoches plus larges et en même temps moins profondes, réduit les pertes par hystérésis et celles par courants de Foucault sont également moindres en comparaison avec la diminution de leur volume ; de plus, lorsqu'on fait usage de l'enroulement en série pour l'induit avec plusieurs bobines par encoche, la self-induction se trouve réduite et la commutation rendue meilleure.

Cette théorie peut se vérifier par un choix convenable des dimensions des encoches; son application judicieuse doit conduire à diminuer les dimensions des machines, notamment de l'entrefer et des pôles, afin de ne pas augmenter l'excitation de l'entrefer et pour qu'une trop forte saturation des dents n'entraîne pas à une trop grande augmentation des

---

[1] *Éclairage Électrique*, t. XXVI, n° 13, p. 467, 30 mars 1901 ; t. XXVII, n° 21, p. 285, 25 mai 1901 ; t. XXIX, n° 48, p. 320, 30 novembre 1901.



AT nécessaires pour réduire l'aimantation transversale, comme c'est le cas pour plusieurs machines du tableau.

Pour les 20 machines, l'induction apparente [1], en considérant la valeur prise au milieu du pôle et en tenant compte de la distorsion du champ, varie entre 12300 et 24000; les valeurs les plus basses sont données par les machines ayant autant d'encoches que de lames au collecteur [2].

Inducteurs. — M. Guilbert donne dans son ouvrage des détails d'ensemble assez développés sur les inducteurs des machines à courant continu ayant figuré à l'Exposition pour qu'il me suffise d'y renvoyer le lecteur.

L'on trouvera dans le tableau les valeurs, pour chaque dynamo, du pas polaire, de l'embrassement ainsi que le rapport de l'embrassement au pas. Ce rapport, pour les machines ayant leurs inducteurs en acier, varie entre 0,75 mm et 0,85 mm; pour celles avec inducteurs en fonte il est plus faible et compris entre 0,66 mm et 0,71 mm; toutefois deux machines avec carcasse en fonte et épanouissements en fer forgé ou tôles feuilletées avaient comme valeur de ce rapport 0,75 mm et 0,79. J'insisterai seulement sur la dispersion.

Dispersion des inducteurs. — La dispersion des inducteurs est en effet un élément qu'on ne doit pas négliger dans l'étude des dynamos. On s'est longtemps contenté de coefficients variables suivant la forme et la puissance des machines, coefficients dus principalement à Hopkinson et à Wiener, qui s'appliquaient à des machines à induit lisse et de types aujourd'hui pour la plupart surannés.

La pratique a montré, notamment pour les machines multipolaires et les induits dentés, qui sont la généralité à l'heure actuelle, que ces coefficients pouvaient être très différents pour deux machines de même puissance et de même type, suivant le nombre de pôles, la forme et les dimensions des noyaux et des épanouissements polaires et suivant l'excitation nécessaire pour l'entrefer et l'induit.

Pour déterminer expérimentalement la dispersion des inducteurs lorsqu'il s'agit de machines de même type, de faible ou de moyenne puissance, où les inductions admises sont sensiblement les mêmes, il est une méthode bien connue des constructeurs, celle des bobines d'exploration. Elle peut donner une valeur suffisante du coefficient de dispersion dans les diverses parties d'une dynamo et rendre de réels services, surtout pour les machines qui se construisent par séries normales, mais lorsqu'il s'agit de dynamos de grande puissance ou dont la construction n'est pas courante ou encore de nouveaux types,

---

(1) On entend par induction apparente dans les dents l'induction donnée par la formule $\frac{\Phi}{S_d}$ dans l'hypothèse que la totalité du flux pénètre par les dents situées sous le pôle. Comme une partie du flux pénètre dans les encoches pour déterminer l'induction réelle en vue des AT, l'on peut faire une hypothèse sur sa valeur et poser :

$$\mathfrak{B}_{d\,\text{réel}} = x$$
$$\varphi_{\text{dents}} = x \times S_{\text{dents}}$$
$$\text{AT}_{\text{dents}} = \text{AT} : \text{cm} \times L_d$$
$$\mathfrak{B}_{\text{enc}} = \frac{\text{AT}_{\text{dents}}}{0.8\,L_d}$$
$$\varphi_{\text{enc}} = \mathfrak{B}_{\text{enc}} \times S_{\text{enc}}$$

si l'hypothèse que l'on a faite sur $\mathfrak{B}_{d\,\text{réel}}$ est exacte, on a $\varphi_{\text{dents}} + \varphi_{\text{enc}} = \Phi$. L_d est évidemment pris égal à deux fois la profondeur d'une encoche.

(2) Beaucoup de constructeurs font encore le nombre d'encoches égal au nombre de lames, aussi bien avec l'enroulement en série; certains prennent même un nombre d'encoches double ou triple du nombre de lames.

la dispersion doit, si l'on ne veut pas se risquer à des mécomptes, être déterminée d'avance par le calcul et le plus rigoureusement possible, mais sans toutefois ne pas oublier qu'elle n'est qu'un élément secondaire auquel on ne doit pas en sacrifier d'autres résultant de considérations beaucoup plus importantes, par exemple le poids de cuivre inducteur et le refroidissement des bobines.

G. Kapp, dans ses *Constructions Électromécaniques*, emploie uniformément, pour calculer la résistance magnétique de la dérivation, la formule

$$\rho = \frac{K\sqrt{p}}{\sqrt{l\,d}}$$

dans laquelle K est un coefficient empirique compris entre 0,25 mm et 0,55 mm dont l'évaluation exacte entre ces deux limites est laissée à l'instinct mécanique et à l'expérience du constructeur. En outre, cet auteur fait remarquer que cette formule n'est réellement applicable que quand $\frac{d}{p}$ est peu différent de la longueur de l'induit et de la largeur des pôles et la hauteur radiale des pôles peu différente de 0,7 mm $\frac{d}{p}$, considérations qui ne se trouvent pas remplies pour plus de deux machines sur les 20 du tableau. C'est indiquer suffisamment que cette formule n'est ni précise ni d'une application pratique et que, pas plus que les coefficients donnés par les tables d'Hopkinson et de Wiener, elle ne peut suffire à résoudre la question.

Mieux vaut donc calculer séparément les différents flux de fuite entre les faces extrêmes et latérales des noyaux et des pôles. Je me suis servi, à cet effet, des formules données primitivement par Forbes et que S. Thompson, Fischer-Hinnen et G. Kapp ont reproduites, dans leurs ouvrages sur les dynamos, sous des formes peu différentes. Les voici telles que je les ai appliquées d'après G. Kapp [1] et en considérant les noyaux cylindriques comme carrés et de section équivalente. Dispersion entre :

1. Les faces extrêmes des épanouissements :

$$\Phi_p = 4\,X_{u'+i}\,h \log\left[1 + \frac{\pi}{2}\left(\frac{a_1 - a_0}{a_0}\right)\right]$$

2. Les faces latérales des épanouissements :

$$\Phi_p = 2{,}5\,X_{u'+i}\,l\,\frac{h}{a_0}$$

3. Les faces extrêmes des noyaux :

$$\Phi_p = 2\,X_{u'+i}\,H \log\left[1 + \frac{\pi}{2}\left(\frac{a_2 - a}{a}\right)\right]$$

4. Les faces latérales des noyaux :

$$\Phi_p = 1{,}25\,X_{u'+i}\,\frac{HL}{a}$$

Dans ces formules H et h, L et l représentent respectivement la hauteur et la longueur des noyaux et des épanouissements polaires, a et a_0 la distance moyenne entre leurs faces latérales, a_2 et a_1 leur distance moyenne d'axe en axe ; la valeur de $(X_{u'+i})$ qui est égale à

[1] Gisbert Kapp. *Les machines dynamo-électriques*, trad. franç. de P. Lecler, p. 205 et suiv.



la somme des AT pour l'entrefer, l'induit et les dents, plus les AT inverses, a été prise pour la pleine charge; le coefficient de dispersion $\nu = \frac{\Phi_i}{\Phi}$ qui varie en fonction de l'excitation est donc indiqué pour la pleine charge.

Suivant Kapp, les formules ci-dessus donnent des valeurs un peu supérieures aux différents flux de dispersion pour les noyaux et les pôles, mais qui sont suffisamment compensées en ne tenant pas compte des flux de fuite entre la partie supérieure et la partie inférieure de chaque noyau, ni entre le noyau et la carcasse. Leur application peut donner des résultats très acceptables pour les machines à grande multipolarité et celles à courant alternatif dont les noyaux inducteurs sont très rapprochés et sensiblement parallèles. Par contre, pour les dynamos à 4 ou à 6 pôles où les axes de deux noyaux consécutifs forment un angle assez prononcé, on est obligé de prendre la moyenne entre ces axes à la base et au sommet et l'exactitude de la méthode est par suite moins rigoureuse.

Le coefficient de dispersion ν, qui est moindre pour les machines à courant continu que pour celles à courant alternatif, varie entre 1,04 mm et 1,22 mm pour les machines étudiées; il est d'autant plus faible que les noyaux inducteurs sont plus courts, l'arc d'embrassement des pôles plus restreint et les cornes polaires plus fines.

Dimensions de l'induit. — Pour déterminer en première approximation le diamètre extérieur de l'induit, dans le cas d'un enroulement en tambour, d'après E, I, n et λ, Fischer-Hinnen donne la formule empirique :

$$D = C\sqrt[3]{\frac{EI}{n} \cdot \frac{1}{\lambda}}$$

dans laquelle cet auteur attribue à C la valeur de 10.

J'ai indiqué la valeur de C pour chacune des dynamos du tableau et ai trouvé en l'appliquant également aux autres machines décrites dans l'ouvrage de M. Guilbert, qu'elle est plus applicable si on lui donne une valeur de

11,4	pour les dynamos	de 1 à 25	kilowatts
9,5	»	de 25 à 50	»
9,25	»	de 50 à 125	»
8,5	»	de 125 à 300	»
7,5	»	de 300 à 750	»

Quant à la largeur de l'induit, elle dépend de considérations multiples : genre d'enroulement, surface de refroidissement, tension, etc., et offre une grande latitude au constructeur. Suivant Hobart [1], pour les dynamos de même puissance et de même vitesse, mais de tensions différentes, on a tout avantage, dans le but d'utiliser les mêmes modèles et d'obtenir une bonne commutation, à conserver le même diamètre extérieur de la carcasse, de l'induit et du collecteur et d'augmenter, avec la tension, la largeur de la carcasse, des pôles et de l'induit, en réduisant le nombre de pôles, de lames et de dents et en modifiant l'enroulement.

J'ai indiqué dans le tableau pour chaque dynamo le rapport entre le diamètre extérieur et la largeur totale de l'induit; l'on verra qu'il varie beaucoup avec les divers constructeurs. Cependant, si l'on écarte les machines accouplées à des moteurs à vapeur, à vitesse lente, ou de construction non courante, on remarquera que ce rapport a une valeur sensiblement constante pour les machines d'une même série et provenant d'un même construc-

[1] *Éclairage Électrique*, t. XXX, nº 6, p. 213, 8 février 1902.

teur. Il est de 0,23 mm pour les machines nos 1 et 14, de 0,355 mm et 0,4 mm pour les machines nos 9 et 10, de 0,28 mm à 0,33 pour les machines nos 7, 8 et 19; de même pour les quatre machines de Schneider et Cie, type S qui ont été décrites dans cette revue, il ne variait que de 0,56 mm à 0,574 mm.

Au sujet de ces dernières, le type S 120 de 121 kilowatts à 450 tours avait les dimensions suivantes pour

110 volts : $2p = 6$; $D = 71,5$; $L = 40$; $\lambda = 0,56$
220 volts : $2p = 6$; $D = 71,3$; $L = 41$; $\lambda = 0,575$

tandis qu'Hobart donne pour une machine de 125 kilowatts à la même vitesse de 450 tours, pour

110 volts : $2p = 8$; $D = 107$; $L = 80$; $\lambda = 0,75$
220 volts : $2p = 6$: $D = 107$; $L = 99$; $\lambda = 0,925$

On voit par cet exemple que les constructeurs diffèrent de principes quant aux dimensions à donner à l'induit suivant la tension [1].

Enroulement de l'induit. — Sur les 40 dynamos à courant continu que décrit M. Guilbert, 19 ont leur induit avec enroulement en parallèle, 12 avec enroulement en série et 9 avec enroulement en série-parallèle. Plusieurs maisons avaient exposé des machines avec l'induit bobiné différemment. Si l'enroulement en parallèle n'offre pas certains des avantages de l'enroulement en série, on voit qu'il est encore loin d'être abandonné et aussi que l'enroulement en série-parallèle d'Arnold qui, au début avait inspiré une certaine méfiance, commence à se répandre même chez les constructeurs français.

Intensité par barre. — Le nombre de conducteurs étant l'un des facteurs qui offre le plus de latitude au constructeur, on admet néanmoins que l'on ne doit pas dépasser une certaine intensité par barre. Cette intensité diffère beaucoup même entre plusieurs machines d'un même constructeur. Sur 33 machines de 30 à 1 530 kilowatts, j'en ai trouvé 13 où cette intensité était comprise entre 50 et 100 ampères par barre, 9 où elle varie de 150 à 200 ampères; pour une seule l'intensité par barre atteignait la valeur élevée de 550 ampères.

Vitesse circonférentielle de l'induit. — La vitesse circonférentielle de l'induit est généralement comprise entre 11 et 19 m : sec. et certains constructeurs adoptent même des valeurs moins élevées : c'est ainsi que pour les machines nos 7 et 17 du même constructeur cette vitesse n'est que de 7, 5 et 8,5 m : sec.

Sur 40 machines décrites par M. Guilbert, 2 ont des vitesses de 22 et 22,7 m : sec. et pour une seule elle atteint la valeur élevée de 28,7 m : sec.

Entre 10 et 20 m : sec. la vitesse est laissée à l'instinct mécanique du constructeur et il serait inexact de dire qu'elle augmente avec la puissance des machines.

Nombre de lames du collecteur. — La détermination du nombre de lames du collecteur en vue d'obtenir une commutation sans étincelles est certainement la question qui a le plus

(1) L'addition de parties mobiles à l'inducteur, à l'induit, au collecteur et au collier porte-balais suivant les différentes tensions, comme le propose Hobart, n'est pas toujours pratique et lorsqu'il s'agit de machines de fabrication courante et de puissance moyenne mieux vaut avoir des modèles distincts pour les différentes tensions. D'ailleurs une comparaison plus approfondie entre la machine donnée par Hobart comme modèle et la machine correspondante du Creusot construite sur des principes différents serait tout à l'avantage de cette dernière qui n'a rien à envier aux machines américaines.



retenu, dans ces derniers temps, l'attention des constructeurs. Les auteurs précédemment cités donnent différentes formules que j'examinerai successivement.

Le nombre des segments du collecteur doit être tel que la tension entre deux lames voisines soit

$$e = \frac{2p\,E}{N_2} < 30 \text{ à } 40 \text{ volts suivant Fischer-Hinnen.}$$
$$< 20 \text{ à } 25 \text{ volts suivant Arnold.}$$

J'ai indiqué la valeur de e pour chaque machine du tableau; on verra que, même pour des tensions de 500 à 550 volts, la tension entre deux lames est loin d'atteindre des valeurs aussi élevées. Sur 40 machines exposées, j'en ai trouvé

8 avec $e < 5$
15 avec $e = 5$ à 10
11 avec $e = 10$ à 15
5 avec $e = 15$ à 20
et seulement 1 avec $e = 29{,}8$

Les dynamos où $e = 15$ à 20 volts de même que la dernière sont des machines construites pour 500-550 volts. Dans les dynamos où $e = 10$ à 15 volts, il y en a 7 de 500 volts et plus. Sur les 14 machines où e est inférieur à 10 volts, 13 sont de 250 volts ou moins.

Si l'on adoptait la formule $N_2 = \frac{2\,p\,E}{e}$ pour le nombre de lames du collecteur, on pourrait donner à e les valeurs de

3,5 à 6 volts	pour les dynamos	de 2 et 4 pôles jusque 125 volts,
6 à 8	»	de 6 pôles et plus jusque 125 volts,
6 à 11	»	de 2 pôles et plus de 200 à 250 volts,
11 à 16	»	de 4 pôles et plus de 450 à 550 volts.

Ces valeurs, de même que la formule précédente, ne sont qu'approximatives et ne peuvent en tous cas s'appliquer qu'à des machines courantes commandées par courroie, car cette formule ne tient pas compte de la fréquence de la commutation [1].

Arnold donne une autre formule qui fixe le nombre de lames du collecteur

$$N_2 = C_1 N \sqrt{J}$$

dans laquelle N et J sont des symboles connus et C_1 une constante comprise d'après cet auteur entre 0,037 et 0,04. Le tableau donne également la valeur de C_1 pour chaque machine; sur 40 machines exposées j'ai trouvé qu'elle variait entre 0,033 et 0,062 mais elle est le plus souvent comprise entre 0,04 et 0,05.

Mais le constructeur soucieux d'obtenir une marche sans étincelles ne peut se contenter de formules ne conduisant qu'à une approximation relative. Arnold et Fischer-Hinnen ont donné dans leurs ouvrages de grands développements à la théorie de la commutation et les articles récents de Parshall et Hobart ainsi que de M. Rothert sur la tension de réactance dont cette revue a donné des analyses détaillées [2] avanceront sans doute beaucoup la solution de cette question.

---

[1] Hobart prend même des valeurs moins élevées : 2,3 à 2,9 pour 115 volts ; 3,2 à 3,6 pour 230 volts ; 4,9 à 6,5 pour 550 volts.

[2] Cf. Les articles de Hobart, *Éclairage Électrique*, t. XXX, n° 6, p. 213, 8 février 1902 et de Rothert, *Éclairage Électrique*, t. XXXII, n° 34, p, 290, 23 août 1902.



Il eut été très intéressant d'appliquer les résultats obtenus par ces auteurs aux dynamos de l'Exposition, mais le calcul de $\frac{RT}{L}$ et de la tension de réactance supposent la connaissance de la largeur des balais, du nombre de lames recouvertes par une ligne de balais ainsi que lès données précises sur la longueur des spires dans le fer et dans l'air, renseignements que ne donnent pas les sources qui m'ont servi ; je ne puis donc que regretter de n'avoir pu indiquer les valeurs de $\frac{RT}{L}$, ni de la tension de réactance.

Rothert toutefois en arrive à cette conclusion. Si, par comparaison avec la formule précédente d'Arnold, on tire N_2 de la formule donnant la tension de réactance, on obtient

$$N_2 = C_3 N^2 J$$

C_3 étant une constante dont l'auteur n'indique pas la valeur. Je l'ai indiquée pour les dynamos du tableau et ai trouvé qu'elle variait dans de telles limites (de 0,0000257 à 0,000002) que je ne crois pas que l'on puisse en tirer grand profit. Il est vrai que son auteur suppose que la tension de réactance ainsi que le produit : longueur des lignes de force dans l'air et dans le fer $\times$ vitesse en tours par minute, puissent rester constants dans une série de dynamos normales où la largeur de l'induit varie en sens inverse de la vitesse ; à cette condition la valeur C_3 de la formule de Rothert resterait peut-être aussi constante, mais cette condition n'est pas observée par tous les constructeurs dans leurs séries normales comme je l'ai indiqué plus haut au sujet des dimensions de l'induit [1].

Mieux vaut donc, à mon avis, au lieu d'employer des formules qui renferment des constantes aussi élastiques, déterminer pour chaque dynamo, de série normale ou non, la tension de réactance d'après les formnles de Parshall et Hobart ou de Rothert [2] qui n'en diffère que par l'introduction d'un coefficient λ variable entre 1 et 0,768 d'après le nombre de lames du collecteur par dent et le nombre de lames couvertes par un balai, coefficient qui manque encore d'exactitude.

Dimensions du collecteur. — Les éléments qui déterminent les dimensions du collecteur sont le nombre et l'épaisseur des lames y compris l'isolant, le nombre de balais par ligne et leur surface de contact, enfin son échauffement et sa vitesse périphérique.

La vitesse périphérique moyenne est ordinairement comprise entre 7 et 11 m : sec. ; les valeurs extrêmes que j'ai trouvées pour 40 dynamos de l'Exposition sont de 4,75 m et 17,50 m ; cette dernière valeur se rapporte à une machine du Creusot à induit collecteur ainsi qu'à une machine anglaise de 1530 kilowatts dont la vitesse circonférentielle de l'induit atteint elle-même la valeur la plus élevée, 28,7 m par seconde.

Il n'est pas possible d'établir de rapport fixe entre le diamètre et la longueur des collecteurs appartenant à des machines de même provenance ou de constructeurs différents ; ce

[1] J'ai appliqué la formule de Rothert à la série de 12 dynamos étudiées par Hobart, dont j'ai parlé précédemment et qui comprend 4 puissances différentes, sous 115, 230 et 550 volts, ayant la même vitesse pour une même puissance, la largeur de l'induit augmentant avec la tension. J'ai trouvé pour la constante C_3 des valeurs variant par exemple entre 0,000005 et 0,000001 pour une même puissance et deux tensions différentes, entre 0000,02 et 0,000008 pour une même tension et 4 puissances différentes ; pour une même tension de réactance qu'Hobart calcule à l'aide d'une formule semblable à celle de Rothert, j'ai trouvé des valeurs de C_3 variant entre 0,000004 et 0,000008 et enfin entre 0,000005 et 0,000008 pour une même tension entre deux lames du collecteur. Je n'ai pas trouvé de résultats plus concordants pour les quatre dynamos de la série S du Creusot.

[2] Formule de Rothert : $E_r = 1{,}05 . 10^{-9} . \lambda (l + 0{,}1\, l') \frac{N^2 nJ}{N_2}$. Suivant M. Dick, la tension de réaction avec des balais en charbon ne devrait pas dépasser 1,2 V. pour les génératrices et 1,8 V. pour les réceptrices, chiffres inférieurs à ceux que donne Hobart et qui varient entre 1,8 et 2,8 V.



rapport varie non seulement avec la tension et le genre d'enroulement, mais surtout avec la puissance, les collecteurs des grandes machines étant ordinairement ajourés, ce qui augmente leur surface de refroidissement.

Réaction d'induit. — Il y a deux points distincts à considérer dans la réaction d'induit :

1° La réaction directe, représentée par les AT inverses ou en opposition, dont l'effet est de diminuer la force magnétomotrice de l'inducteur et d'affaiblir le champ magnétique ;

2° La réaction transversale, représentée par les AT transversaux ou en quadrature, qui produisent une distorsion du champ et une saturation inégale sous les pôles, dont l'effet est de nécessiter une excitation supplémentaire pour conserver sa même valeur au flux utile moyen et d'augmenter les pertes lorsque l'induction atteint une trop grande valeur sous la corne d'arrière.

Pour les AT inverses, il suffit, lors du calcul de l'excitation totale pour la pleine charge, d'ajouter leur valeur (1)

$$X_{inv} = NJ \frac{g}{\pi (D + 2\delta)}$$

aux AT nécessaires pour le circuit magnétique.

Quant à la réaction transversale, la méthode graphique, dont l'application est si féconde dans le calcul des machines électriques, permet de déterminer avec une approximation suffisante dans la pratique, les AT nécessaires pour la compenser ; comme elle m'a servi à calculer ces AT pour les dynamos du tableau, je donnerai quelques détails sur son application.

On porte en abscisses la largeur du pôle et en ordonnées les valeurs de Φ (ou de l'une des inductions correspondantes, telle que $\mathfrak{B}_{d\ app}$) en différents points du pôle, notamment à la corne d'avant, au milieu du pôle et à la corne d'arrière ; pour faciliter le tracé ultérieur de la courbe du champ, on peut également porter les valeurs de Φ ou de $\mathfrak{B}_{d\ app}$ à égale distance entre le milieu du pôle et chaque corne.

A vide, la ligne qui joint les sommets de ces ordonnées est une droite, parallèle à l'abscisse. En charge, par suite de l'aimantation transversale, si l'on désigne par X_u la somme des AT nécessaires pour l'entrefer, le noyau induit et les dents et par

$$X_t = NJ \frac{\lambda}{\pi (D + 2\delta)}$$

les AT transversaux, la valeur de Φ ou de $\mathfrak{B}_{d\ app}$ serait, si la perméabilité du fer était constante :

A la corne d'entrée : Φ ou $\mathfrak{B}_{d\ app} \times \frac{X_u - X_t}{X_u}$.

Au milieu du pôle : Φ ou $\mathfrak{B}_{d\ app}$.

A la corne de sortie : Φ ou $\mathfrak{B}_{d\ app} \times \frac{X_u + X_t}{X_u}$.

La ligne qui joindrait le sommet des trois ordonnées sur lesquelles on aurait porté ces valeurs serait encore une droite, faisant un angle d'autant plus grand avec l'abscisse prolongée que l'aimantation transversale serait plus forte ; la surface du trapèze obtenu avec

(1) g représente ici l'entrefer depuis le point de calage des balais jusqu'à la corne polaire opposée ; plus bas λ représente la longueur de l'arc polaire prolongée jusqu'au point de calage des balais.



la largeur du pôle comme base serait égale à la surface du rectangle primitif, le flux total moyen et par conséquent la force électromotrice induite auraient conservé leurs mêmes valeurs.

Mais, par suite de la variation de la perméabilité du fer, l'on doit porter les valeurs réelles du flux utile ou de l'induction dans les dents déduites de la caractéristique Φ ou $\mathfrak{B}_{d\ app} = f(X_u)$ sur les trois ordonnées et aux différents points intermédiaires. La ligne qui joint ces points est une courbe et, comme la valeur de Φ ou $\mathfrak{B}_{d\ app}$ est légèrement augmentée à la corne d'avant, notablement réduite à la corne d'arrière, tandis qu'elle reste la même au milieu du pôle, la nouvelle surface que l'on obtient se trouve être plus petite que la surface primitive ; on doit donc, pour maintenir une valeur égale de Φ, remonter la courbe, jusqu'à ce qu'un planimétrage exact donne une surface égale au rectangle primitif. Φ ou $\mathfrak{B}_{d\ app}$ au milieu du pôle se trouve par suite augmenté, mais comme il en est de même des AT correspondants, l'on doit prendre sur la caractéristique Φ ou $\mathfrak{B}_{d\ app} = f(X_u)$ leurs nouvelles valeurs, dont celle au milieu du pôle sera par exemple X_u'.

J'ai indiqué dans le tableau les valeurs, calculées d'après cette méthode, de l'induction apparente dans les dents, qui est la plus importante, à la corne d'avant, au milieu du pôle et à la corne d'arrière, ainsi que les AT supplémentaires $X_u' - X_u$ nécessaires pour compenser la réaction transversale [1].

Fentes radiales. — Pour combattre cette réaction tranversale, divers constructeurs pratiquent des fentes radiales dans les piècces polaires. Le calcul de la distorsion du champ se fait alors de la même manière que ci-dessus mais en considérant séparément le flux ou l'induction dans les dents correspondantes sous chacun des deux demi-pôles, la valeur de ce flux ou de cette induction pour le demi-pôle compris entre la fente radiale et la corne d'arrière étant réduite d'une valeur proportionnelle à la réluctance de la coupure [2].

Inversion des pôles. — Pour éviter l'inversion des pôles aux cornes polaires qui pourrait se produire si la densité des lignes de force dûe à la réaction de l'induit était plus élevée que celle des inducteurs ; il faut que les ampèretours par centimètre de périphérie de l'induit soient moins élevés que ceux de l'entrefer, ce qui, en désignant les premiers par $AS = \frac{NJ}{2a\pi D}$, s'exprime par la relation

$$AS < \frac{1,6\,\mathfrak{B}_e.\,\delta}{b}.$$

J'ai donné les valeurs de ces AT par centimètre ainsi que du rapport $\frac{1,6\,\mathfrak{B}_e\delta}{b.\,AS}$ pour chaque dynamo. Ce rapport varie ordinairement entre 1 et 2 quoique l'on rencontre aussi des valeurs de 3 et 3,21.

Densités de courant. — Dans l'induit, la densité de courant varie ordinairement entre

---

(1) M. Guilbert dans un numéro précédent de cette Revue (*Éclairage Électrique*, t. XXXIII, n° 43, 25 octobre 1902) donne, en analysant une étude de M. R.-V. Picou, une méthode pour la détermination de la réaction transversale, identique à celle que j'ai suivie d'après G. Kapp ; tandis que M. R.-V. Picou détermine la perte de flux résultant de la distorsion, Kapp détermine la force magnétomotrice nécessaire pour la compenser, ce qui revient au même.

(2) Le même numéro de *L'Éclairage Électrique* contient également une analyse d'un article de M. R. Bauch paru dans l'*E. T. Z.* sur la distorsion du champ ; l'auteur, après avoir donné une théorie de la réaction d'induit, combat la distinction généralement admise entre la réaction directe et la réaction transversale et conteste l'influence des fentes radiales, s'appuyant en cela sur un avis exprimé par M. Fischer-Hinnen. Sans vouloir discuter cette dernière question, je renverrai le lecteur aux articles de M. Guilbert publiés antérieurement par cette Revue et à l'ouvrage de G. Kapp qui démontre l'influence de ces fentes sur une machine qu'il décrit ; j'ajouterai enfin que plusieurs maisons françaises et suisses réputées qui figuraient à l'Exposition continuent à employer ces fentes avec succès.



2,5 et 3,5 amp : mm². Sur 36 dynamos qui figurent dans les tableaux de M. Guilbert, trois ont une densité de courant inférieure à 2 amp : mm² ; l'une d'elles appartient à un groupe électrogène destiné à la marine et dont l'intensité par barre est de 550 ampères ; une autre est une dynamo de 1530 kw dont l'induit atteint une vitesse circonférentielle de 28,7 m : sec. Trois machines seulement ont une densité comprise entre 4,5 et 5 amp : mm²; pour la machine n° 3 qui possède la densité la plus élevée (4,98 amp : mm²) l'augmentation de la température, suivant son constructeur, ne dépasse pas 30° grâce à la ventilation énergique des fils et des croisillons de l'induit et du collecteur.

Dans les bobines inductrices, cette densité est beaucoup plus faible. Elle est généralement comprise, pour l'enroulement shunt, entre 1 et 1,5 amp : mm². Certains constructeurs admettent même des valeurs moins élevées; c'est ainsi que la densité dans les bobines shunt des machines n°s 11 et 4 n'est que de 0,75 et 0,71 amp : mm². La plus haute valeur que j'ai trouvée et qui se rapporte à la machine n° 3 est de 2,1 amp : mm². Pour l'enroulement série, la densité est comprise entre 1,5 et 2 amp : mm²; j'ai trouvé comme valeurs extrêmes 1,05 et 2,86 amp : mm².

Des deux côtés, la densité de courant est limitée par la perte dans le cuivre que l'on a intérêt à réduire en vue d'obtenir un rendement plus élevé et un échauffement moindre.

Echauffement. — La perte dans le cuivre est en effet l'un des principaux facteurs de l'échauffement Si l'on désigne par W la perte en watts, par S la surface de refroidissement en centimètre carré, par v la vitesse phériphérique en m : sec, l'expression de l'élévation de la température est donnée, pour l'induit, les bobines inductrices et le collecteur, par la formule générale :

$$T = C \times \frac{W}{S(1 + b v)}.$$

Pour les bobines inductrices fixes, $v = 0$; la valeur de C est, suivant Esson de 335, suivant Arnold de 280 à 300, suivant Niethammer de 300 pour les bobines complètement à l'air, de 500 pour celles assez découvertes, pour les moteurs blindés et les moteurs de tramway sans refroidissement artificiel elle atteint des valeurs encore plus élevées.

Pour l'induit, l'application de cette formule est assez difficile. Aux pertes dans le cuivre il faut ajouter celles par hystérésis ; comme surface de refroidissement il faut, en outre de la partie cylindrique extérieure de l'induit et des deux faces latérales, tenir compte d'une partie plus ou moins grande de la surface intérieure du noyau et des canaux de ventilation s'il y en a. Esson donne à C la valeur de 225 sans tenir compte de la vitesse périphérique; Fischer-Hinnen prend pour C 645 et multiplie S par $(1 + 0{,}3\sqrt{v})$; Arnold prend $C = 300$ et $b = 0{,}1$. Niethammer a trouvé dans de nombreux essais que C variait entre 200 et 1400, mais il ne tient pas compte de la vitesse phériphérique, bien qu'il reconnaisse que la température augmente quand la vitesse décroît, tandis que les pertes diminuent beaucoup plus lentement en même temps que la vitesse.

Pour le collecteur, Arnold et Niethammer font $C = 300$ et $bv = 0{,}1\ v$, W étant pris égal à la somme des diverses pertes qui se produisent au collecteur et qui sont ordinairement de 0,8 à 0,9 p. 100 de la puissance en kilowatts. Comme surface de refroidissement l'on doit, dans les grandes machines, tenir compte de la surface intérieure généralement à découvert.

Je n'ai pas indiqué les différentes valeurs de l'échauffement, le calcul comme on le voit d'après les formules ci-dessus, en étant très aléatoire ; le tableau donne simplement le nombre, approximatif, de watts perdus par décimètre carré pour l'induit et les électros.



PERTES DANS LE FER DE L'INDUIT. — Les pertes par hystérésis dans le noyau induit peuvent se déterminer, pour la marche à vide, avec une certaine exactitude lorsqu'on connaît le coefficient d'hystérésis η des tôles par la formule de Steinmetz

$$W_h = 10^{-7}\,\eta\,\frac{p.\,n.}{60}\,\mathfrak{B}_a^{1.6}\,V.$$

Quant aux pertes par courants de Foucault, celles qui se produisent dans le noyau sont données par la formule

$$W_f = 10^{-11}.\,1{,}6425.\,d^2.\left(\frac{p.\,n.}{60}\right)^2 \mathfrak{B}_a^2\,V.$$

Ces pertes sont relativement faibles, mais l'on doit encore y ajouter les courants parasites dans les conducteurs extérieurs, pertes qui peuvent se réduire en divisant les fils le plus possible et en arrondissant les cornes polaires pour adoucir leur passage de la zone neutre à un champ intense, bien que ce soit moins nécessaire pour les induits dentés; puis les courants parasites dans les boulons, généralement minimes lorsque l'induit n'est pas trop saturé.

De plus, comme d'une part les tôles sont toujours plus ou moins planes et que le travail qu'on leur fait subir, notamment le poinçonnage des encoches et les retouches à la lime, réduit toujours l'épaisseur des tôles à la denture tant soit peu et d'une façon inégale; comme d'autre part, lorsque l'entrefer est faible, la séparation des lignes de force en tranches s'opère à l'intérieur même des pôles, il en résulte que, par suite, du balancement de l'induit en rotation, chaque tranche des lignes de force, pour pénétrer bien en regard de chaque disque correspondant, doit subir un gauchissement et ce gauchissement a pour effet d'engendrer dans les pôles des courants de Foucault qui sont d'autant plus intenses, en un point quelconque du pôle, que l'entrefer y est plus réduit et l'induction plus élevée.

C'est ce qui explique la difficulté de déterminer par le calcul la valeur des courants parasites et pourquoi l'on obtient souvent, aux essais, des pertes 1,5 à 3 fois supérieures à celles données par les formules qui précèdent.

Suivant Arnold, si l'on désigne, d'un côté pour la marche à vide par $\mathfrak{B}_0$ l'induction dans l'entrefer et par W_0 la perte dans le fer en watts prise égale à 1,5 ou 2,5 W_h dans le noyau et les dents, d'un autre côté pour la marche en charge par $\mathfrak{B}_i$ l'induction maxima dans l'entrefer, par W_2 les pertes additionnelles causées par l'aimantation transversale, on aura pour la perte totale dans le fer pour le régime normal,

$$W_i = W_0 + W_2$$

ou

$$W_i = W_0\left(\frac{\mathfrak{B}_i}{\mathfrak{B}_0}\right)^2.$$

Les valeurs indiquées dans le tableau pour les pertes dans le fer de l'induit ont été calculées d'après cette dernière formule, en prenant $\eta = 0{,}003$ et $W_i = 2\,W_h$. Elles ne sont évidemment qu'approximatives et varient suivant mes calculs entre 1 et 3,85 p. 100 de la puissance en kilowatts avec une moyenne de 2,5 à 3,5 p. 100.

PERTES DANS LE CUIVRE DE L'INDUIT. — Comme valeurs extrêmes de la perte par effet Joule dans le cuivre de l'induit, j'ai trouvé 0,85 et 4,95 p. 100 de la puissance en kilowatts, mais la moyenne est généralement comprise entre 1,84 et 3,2 p. 100.



Si l'on compare maintenant les pertes dans le fer avec les pertes dans le cuivre de l'induit, on verra que parmi les constructeurs, les uns consentent des pertes plus grandes dans le cuivre, les autres dans le fer, en admettant toutefois comme suffisamment approchés les chiffres que j'ai trouvés pour ces dernières.

Dépense pour l'excitation. — La dépense consentie pour l'excitation varie suivant les constructeurs et même légèrement suivant la puissance des dynamos d'un même constructeur. J'ai trouvé pour les 20 machines du tableau comme extrêmes 3,05 et 0,93 p. 100 du débit, et comme valeur moyenne 1,6 à 1,7 p. 100 pour l'excitation en charge.

Calcul de l'excitation. — Suivant la méthode employée par G. Kapp dans ses *Constructions électro-mécaniques*, et que j'ai suivie, l'excitation pour la pleine charge se détermine en ajoutant aux AT nécessaires pour l'entrefer, l'induit, les dents, la carcasse, les noyaux, le joint et les épanouissements polaires (1), les AT supplémentaires pour compenser la réaction transversale et les AT inverses. Pour les machines multipolaires comportant 2 bobines inductrices par circuit magnétique (2) et excitées en dérivation, la force magnétomotrice est donnée par le produit $2\,im$; pour les machines à excitation compound, il faut encore y ajouter les AT de l'enroulement série, égaux à Jm, lorsque toutes les bobines de cet enroulement sont reliées en série, ce qui est le cas le plus général.

Les résultats de mes calculs pour les dynamos du tableau concordent assez bien avec ceux que l'on obtient en prenant pour i la valeur de l'excitation à pleine charge donnée par les constructeurs; toutefois, pour les génératrices compound qui sont des génératrices de tramways, on trouvera des écarts sensibles provenant d'abord de ce que les constructeurs ajoutent ordinairement à l'enroulement série quelques spires de plus qu'il ne serait théoriquement nécessaire, en outre de ce que ces machines doivent souvent répondre à certaines conditions spéciales que les sources n'indiquaient pas, notamment les variations de vitesse.

La légère différence entre les chiffres que j'ai trouvés pour l'excitation totale des machines en dérivation et sa valeur exacte s'expliquera facilement, en partie par l'application de méthodes de calcul, sans doute différentes de celles employées par les constructeurs mêmes, notamment pour l'entrefer, en second lieu du fait que certaines sections ont été prises plus ou moins exactes, ainsi que certaines longueurs de lignes de force relevées sur des dessins à échelle réduite, enfin de ce que la perméabilité des métaux peut être différente de celle donnée par les courbes d'Hopkinson qui m'ont servi de base.

Puissance volumique. — Un excellent mode de comparaison de l'utilisation des matériaux dans les dynamos a été récemment indiqué par M. Mavor et S.-P. Thompson (3). Il est basé sur trois facteurs :

1° La densité brute de courant dans la zone active, α;

---

(1) Toutes les dynamos du tableau, à l'exception des machines nos 6 et 13 qui ne comportent pas d'épanouissements spéciaux, ont tantôt les pôles venus de fonte avec les noyaux qui sont alors fixés à la carcasse par des boulons, tantôt les noyaux venus de fonte avec la carcasse et les pièces polaires vissées au noyau; j'ai pris pour la force magnétomotrice nécessaire pour un joint la formule d'Ewing $X = 0{,}8\ \mathcal{B} \times 0{,}003$.

Certains auteurs tels que G. Kapp comptent pour l'excitation les épanouissements polaires avec les noyaux.

(2) Toutes les dynamos du tableau comprennent deux bobines inductrices par circuit magnétique à l'exception de la machine n° 18 qui est à pôles conséquents.

(3) Cf. *Éclairage Électrique*, t. XXXIV, n° 2, p. 74, où l'on trouvera également les formules relatives à ces trois facteurs.



2° L'induction magnétique brute dans la zone active, β ;

3° La vitesse périphérique de l'induit en cm : s, γ.

Le produit de ces trois facteurs donne ce que l'auteur appelle la *puissance volumique* de la zone active.

Sur 50 dynamos, M. Mavor a trouvé : pour α, 46 à 71 amp. : cm²; pour β, 4 500 à 5 000 gauss, pour γ des valeurs comprises entre 10 et 25 m. : sec., et comme puissance volumique 3 à 7 watts : cm³.

Pour les 20 dynamos du tableau, dont 17 à induit denté, α est en moyenne de 54 amp. : cm², bien que l'on remarque des valeurs extrêmes de 28 et 114 amp. : cm²; β est compris généralement entre 4 700 et 5 800 gauss, quoique l'on trouve des valeurs extrêmes de 3 000 et 3 800 pour deux machines à grande multipolarité, et de 7 300 et 7 500 gauss pour des machines de plus de 300 kilowatts avec 8 pôles. Quant à la puissance volumique de la zone active, elle varie en général de 2,7 à 6 watts par centimètre cube; ses valeurs extrêmes sont de 1,54 (n° 17) et de 9,35 (n° 14) pour des machines à induit denté.

Suivant donc que l'un ou l'autre des trois facteurs domine, c'est que le constructeur met davantage de courant dans le fil et travaille avec beaucoup de pôles, ou utilise une induction magnétique élevée en travaillant avec relativement peu de pôles, ou donne à l'induit une grande vitesse circonférentielle.

Puissance spécifique. — J'ai également pris comme base, pour comparer les dynamos entre elles, au point de vue de l'utilisation des matériaux, la relation $\frac{\text{kilowatts}}{\text{tours par minute}}$ qui est celle généralement adoptée.

Poids des tôles d'induit par $\frac{KW}{T:M}$. — Le poids du fer de l'induit est relativement très élevé pour les faibles puissances spécifiques. Il varie en général de 2 000 à 3 100 kg pour des puissances de 0,07 à 0,12 $\frac{Kw}{Tm}$, de 1 240 à 1 760 kg pour des puissances de 0,2 à 1 $\frac{Kw}{Tm}$, ce qui représente encore des écarts considérables entre les constructeurs; par contre, pour des puissances spécifiques de 3,2 à 5,7 $\frac{Kw}{Tm}$, le poids est compris entre 700 et 965 kg.

Poids du cuivre. — On trouve des écarts encore plus grands entre le poids de cuivre d'une machine à l'autre. Pour l'induit, la différence varie entre 49 et 840 kg par $\frac{Kw}{Tm}$, et il m'a paru impossible d'établir une moyenne, soit en raison de la puissance, soit en raison de l'enroulement.

De même pour les bobines inductrices, j'ai trouvé des valeurs variant entre 410 et 3 800 kg par $\frac{Kw}{Tm}$; ce sont évidemment les machines à grande multipolarité, dont les bobines ont le moindre poids de cuivre, mais à ce point de vue pour établir une comparaison entre deux machines de même puissance et de multipolarité différente, il faudrait leur supposer une égale dépense d'excitation, un échauffement et une perte par effet Joule équivalents, ce qui ne se rencontre pas.

Le rapport entre le poids de cuivre par $\frac{Kw}{Tm}$ utilisé pour l'induit et celui utilisé pour les inducteurs varie dans des proportions moindres d'une machine à l'autre.

En résumé, il ressortira de cette étude, bien qu'elle ne porte que sur un nombre de machines restreint que, malgré les progrès réalisés dans ces dix dernières années, la



grande perfection et le rendement élevé auxquels on est arrivé dans la construction des machines à courant continu, bien des divergences existent encore entre les constructeurs, au point de vue notamment des dimensions à donner aux principaux organes des dynamos, du nombre de pôles à adopter, des inductions et des limites d'échauffement à admettre. Néanmoins, de toute cette diversité se dégagent quelques éléments essentiels, quelques tendances, qui font bien augurer de l'avenir. C'est d'abord la substitution aux anciennes machines, ayant leurs électros découverts, de types multipolaires aux dimensions restreintes, ramassées, aux formes agréables à l'œil ; en second lieu, la tendance à réduire le diamètre de l'induit, grâce à l'emploi de l'enroulement en tambour, des dents, des canaux de ventilation ; le soin qu'apportent tous les constructeurs à la commutation en vue de réduire l'usure des collecteurs ; enfin l'emploi presque général, pour les inducteurs, de l'acier coulé qui permet de construire des machines aussi robustes, tout en étant plus légères, et de réaliser ce but, qui est aussi celui de la mécanique : faire produire, à moins de matière, plus d'énergie.

Louis Drucbert,
Ingénieur à Bruxelles.

RÉSEAU ET INSTALLATIONS DE TRAMWAYS DE GLASGOW (1)
(ÉCOSSE)

Sous-stations (fig. 11, 12, 13, 14 et 15). — Leur disposition générale est représentée en coupe figure 11, et leurs connexions figures 14, 15 et 16.

Les feeders triphasés des sous-stations aboutissent aux barres omnibus en passant par les interrupteurs de feeders.

Ces interrupteurs primaires sont du type Parshall à double levier, et peuvent couper 100 ampères sous 6 500 volts.

Le courant arrive, sous cette tension élevée, aux transformateurs triphasés alimentant les commutatrices :

Transformateurs. — Ces transformateurs sont constitués par des groupements de transformateurs monophasés, réunis en triangle : chacun de ces transformateurs est du type Westinghouse « O. D. » et les caractéristiques principales sont les suivantes :

Circuit magnétique double et symétrique, noyau central à l'intérieur des bobines primaires et secondaires, avec double retour de flux entourant ces bobines (fig. 12).

Les bobines sont constituées de galettes soigneusement isolées, comportant chacune un petit nombre de spires, ce qui réduit le voltage appliqué à chaque élément.

Dans la construction de ces transformateurs, ces bobines sont d'abord juxtaposées et séparées par des cloisons isolantes et les tôles de fer devant constituer le noyau sont insérées intérieurement et extérieurement aux bobines, dans un ordre convenable, l'appareil représenté figure 13 étant pour cela placé dans une position différente de celle de la figure 11, déplacé de 90°, par exemple, autour de l'arête antérieure horizontale de sa carcasse; cette carcasse assemble après construction complète, et assujettit solidement les tôles du noyau, au moyen de boulons ; l'ensemble — noyau et bobines — est ensuite plongé dans

(1) Voir le précédent numéro, p. 385.



un récipient d'huile dont la surface extérieure présente de grandes saillies pour faciliter le refroidissement (fig. 12).

Ces deux figures montrent les dispositions prises pour faire varier au besoin le rapport de transformation des appareils : Les enroulements primaires aboutissent à des douilles

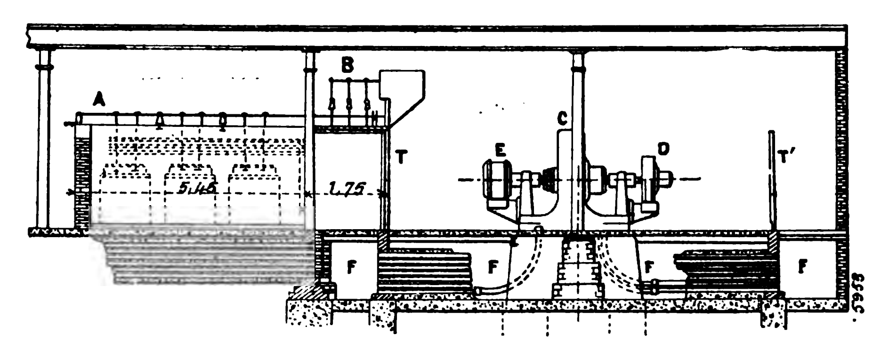


Fig. 11. — Vue en coupe de la sous-station Dalhousie.

A, Barres omnibus à haute tension de transformateurs. — B, Barres omnibus à haute tension de tableau. — C, Commutatrice. — D, Sousvolteurs de feeder. — E, Moteur de démarrage. — F, Caniveaux ménagés pour les canalisations électriques souterraines. — T, Tableau de distribution à courant alternatif. — T', Tableau de distribution à courant continu.

spéciales permettant d'insérer plus ou moins de spires primaires au moyen de fiches de connexion.

Le secondaire de chaque groupe de 3 transformateurs alimente un système triphasé de barres omnibus, où le courant peut se rendre par 3 interrupteurs simples à rupture brusque de 1 000 ampères.

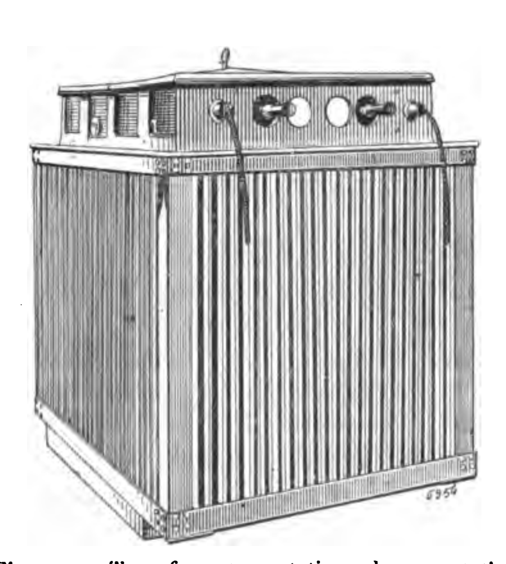




Fig. 12. — Transformateur statique de sous-station.

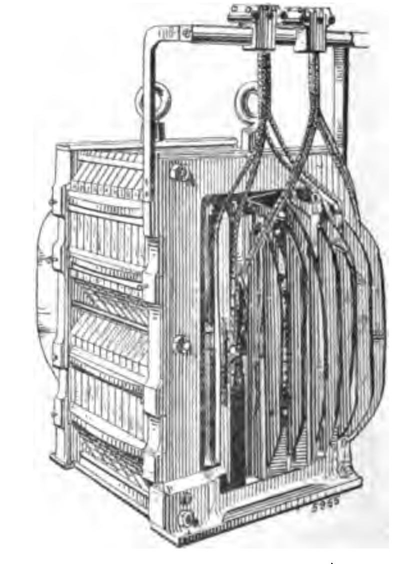


Fig. 13. — Transformateur statique Westinghouse.

Les transformateurs alimentés en triphasé par 6 500 volts donnent du diphasé à 310, 320 ou 330 volts (grâce au jeu de fiches primaires que nous avons signalé). Chaque groupe de 3 transformateurs a son panneau séparé comportant en plus des interrupteurs primaires et secondaires signalés, 2 ampèremètres à courant alternatif et leurs transformateurs, un jeu de fiches pour voltmètre et 1 interrupteur tripolaire à simple direction qui sert à la mise

en marche des commutatrices, au moyen des moteurs d'induction en bout d'arbre. Les commutatrices présentent certaines particularités intéressantes dont on peut juger par les figures en s'aidant des explications suivantes :

Commutatrices. — Chacune a une puissance de 500 kilowatts, et tourne à 500 tours avec du courant de 25 périodes. Les inducteurs sont surcompoundés pour une élévation de voltage de 10 p. 100 entre le vide et la pleine charge, chacun des 6 pôles inducteurs porte donc une bobine shunt et une bobine série, l'induit est denté et enroulé à la manière ordi-

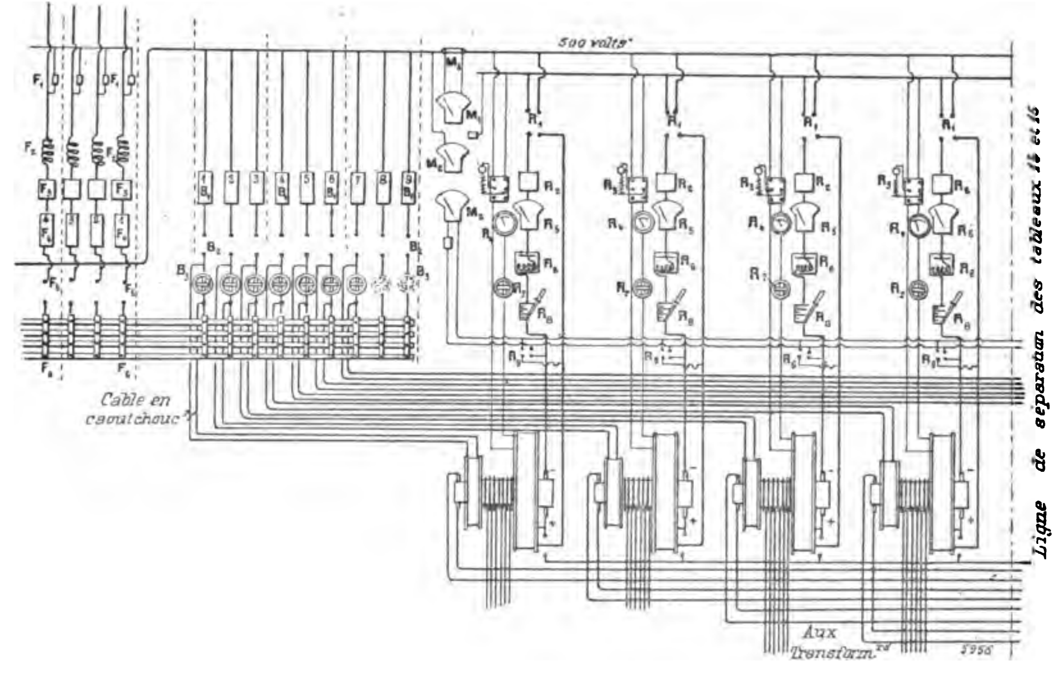


Fig. 14. — Connexions de la sous-station Dalhousie. — Panneaux de feeders +. — Panneaux d'excitation des survolteurs. — Panneau d'instruments de mesure et panneaux d'induit des survolteurs (à suivre fig. 15).

Panneaux de feeders à 500 volts (fig. 14), à gauche (3 feeders par panneau). Section 0,6"² : F_1, Parafoudres. — F_2, Bobines de réactance pour parafoudres, pouvant porter 600 ampères. — F_3, Disjoncteurs, 800 à 1 200 ampères. — F_4, Ampèremètres Edgewise, 0 à 1 000 ampères. — F_5, Interrupteur à rupture brusque, unipolaire, à deux directions pour 1 000 ampères. — F_6, Barres omnibus de feeders, section 63 mm par 19 mm.

Panneaux d'excitation de survolteurs (un seul pôle) (fig. 14), 3 panneaux, 1 000 ampères : B_1, Ampèremètres Edgewise, gradués 0 à 1 200 ampères. — B_2, Interrupteurs à rupture brusque, unipolaires pour 1 200 ampères. — B_3, Rhéostats d'excitation des survolteurs, capacité maxima 1 000 ampères. — B_4, Barre omnibus de survolteur, section 63 mm par 25 mm.

Panneau d'instruments de mesure (fig. 14) : M_1, Ampèremètre principal, 0 à 7 500 ampères, Weston à cadran éclairé. — M_2, Voltmètres, 0 à 750 volts, Weston à cadran éclairé. — M_3, Shunt pour ampèremètre.

Panneaux d'induit des survolteurs (2 pôles) fig. 14 : R_1, Interrupteurs unipolaires, à simple direction, rupture brusque, 1 200 ampères. — R_2, Disjoncteurs automatiques, 1 200 à 2 000 ampères. — R_3, Commutateur d'excitation, bipolaire, avec résistance de décharge et lampe pilote. — R_4, Ampèremètre d'excitation avec zéro au milieu de l'échelle, pouvant lire 60 ampères de chaque côté du zéro. — R_5, Ampèremètres principaux, 0 à 1 500 ampères, Weston à cadran éclairé. — R_6, Wattmètres pour 1 000 ampères et 500 volts. — R_7, Rhéostat d'excitation (celle-ci fournie par les commutatrices). — R_8, Rhéostat et interrupteur de démarrage (par courant des commutatrices). — R_9, Commutateur à fiche quadruple pour voltmètre.

naire (noyau en tôle d'acier doux porté par un manchon claveté sur l'arbre), dispositif de ventilation ordinaire, bobinage ordinaire des commutatrices, collecteur monté de même. Mais, on voit sur la figure des machines auxiliaires, une à chaque bout d'arbre de la commutatrice : l'une d'elles est un moteur d'induction servant au démarrage.

Un courant à 25 périodes lui est amené directement du secondaire des transformateurs principaux par un interrupteur que nous avons signalé. Présentant 2 pôles de moins que la commutatrice, le moteur prendra une vitesse supérieure à celle du synchronisme ; en coupant son alimentation et en observant le ralentissement de la machine, on peut opérer l'accrochage de la commutatrice lors du passage de celle-ci au synchronisme.



L'autre bout d'arbre porte un survolteur qui sert à assurer, sur le circuit de retour, une chute de voltage aussi faible que possible, afin de ne pas dépasser la limite légale.

Pour que le voltage en un point quelconque des rails servant au retour du courant n'expose pas aux dangers électrolytiques, le Board of Trade d'Angleterre s'est toujours montré très strict à cet égard et a édicté depuis longtemps des conditions très sévères auxquelles tous les installateurs sont tenus de se soumettre. Aussi rencontre-t-on parfois, dans les installations anglaises des dispositifs de ce genre, qui sont tout à fait inconnus

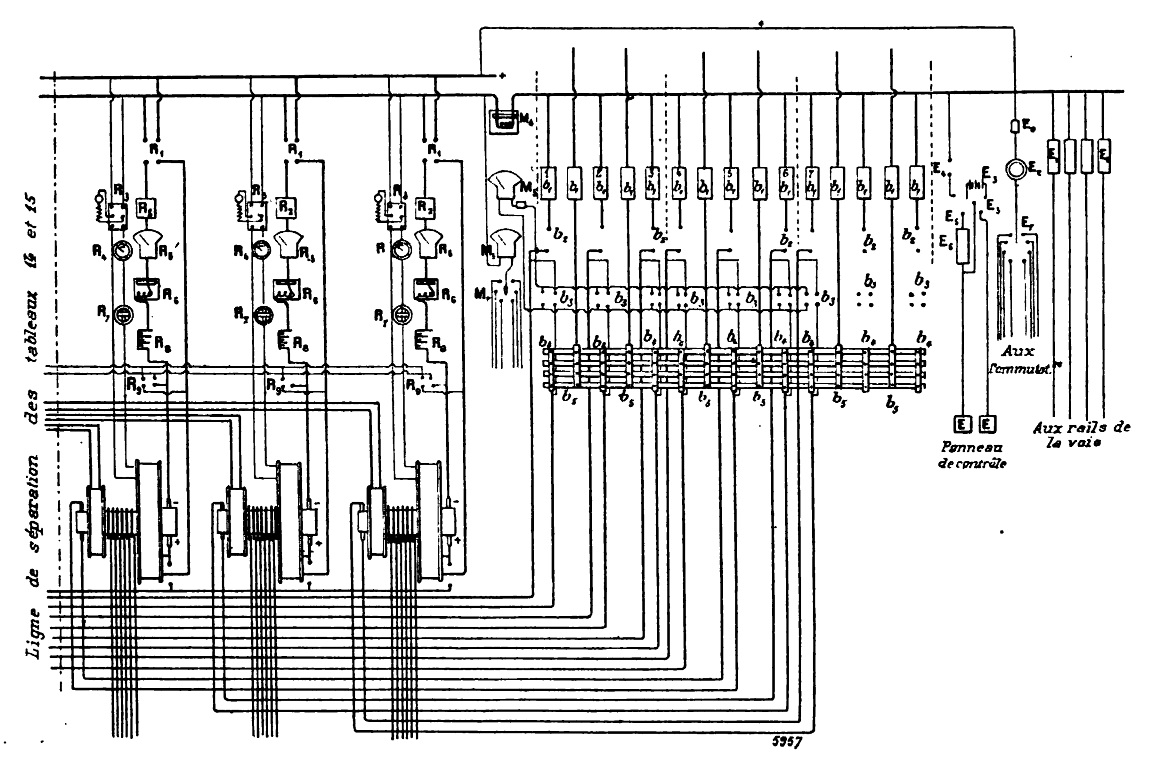


Fig. 15. — Connexions de la sous-station Dalhousie. — Panneaux d'induit des sous-volteurs de retour (suite de la figure 14). — Panneau d'instruments de mesure. — Panneaux de feeders de retour et panneau de contrôle (ou Board of Trade).

Panneaux d'induit des survolteurs (2 pôles) figures 14 et 15 : R_1, Interrupteurs unipolaires, à simple direction, rupture brusque 1 200 ampères. — R_2, Disjoncteurs automatiques, 1 200 à 2 000 ampères. — R_3, Commutateur d'excitation, bipolaire, avec résistance de décharge et lampe pilote. — R_4, Ampèremètre d'excitation avec zéro au milieu de l'échelle, pouvant lire 60 ampères de chaque côté du zéro. — R_5, Ampèremètres principaux, 0 à 1 500 ampères, Weston à cadran éclairé. — R_6, Wattmètres pour 1 000 ampères et 500 volts. — R_7, Rhéostat d'excitation (celle-ci fournie par les commutatrices). — R_8, Rhéostat et interrupteur de démarrage (par courant des commutatrices). — R_0, Commutateur à fiche, quadruple, pour voltmètre.

Panneau d'instruments de mesure (fig. 15) : M_4, Wattmètre principal, pour 7 500 ampères à 500 volts. — M_5, Voltmètre, 0 à 100 volts, Weston à cadran éclairé. — M_6, Voltmètre, 0 à 10 volts. — M_7, Commutateur de voltmètre à 6 positions.

Feeders de retour (fig. 15) : b_1, Ampèremètres Edgewise, 0 à 1 200 ampères. — b_2, Interrupteurs unipolaires, rupture brusque, 1 200 ampères. — b_3, Commutateurs à fiches pour voltmètre. — b_4, Barres d'induit de survolteur, section 63 mm par 25 mm. — b_5, Barres de feeder, section 63 mm par 25 mm.

Panneau de contrôle (fig. 15) à droite : E, Plaques de terre. — E_1, Voltmètres enregistreurs, 0 à 10 volts. — E_2, Ampèremètres pour essais, 0,001 à 5 ampères. — E_3, Groupe de deux éléments d'accumulateurs, pouvant débiter chacun 200 ampères. — E_4, Interrupteur unipolaire pour 20 ampères. — E_5, Interrupteur unipolaire à 2 directions pour 20 ampères. — E_6, Ampèremètre enregistreur, 0 à 10 ampères. — E_7, Commutateur unipolaire à 8 directions pour 10 ampères, isolé pour 500 volts. — E_0, Coupe-circuit.

sur le continent : rappelons que le maximum de voltage permis par le Board of Trade sur le voltage de retour est de 7 volts, et montrons comment ce dispositif permet de rester bien au-dessous de cette limite.

Les survolteurs montés en bout d'arbre se comportent comme des machines à excitation indépendante : leurs inducteurs sont en circuit avec les feeders positifs. Leur induit est



en série avec un feeder de retour, c'est-à-dire sur le trajet de ce feeder, entre la barre omnibus négative de la sous-station et le point d'alimentation de la voie : de sorte que cet induit neutralise la résistance de retour de ce long feeder et facilite le retour du courant à l'usine.

Chaque survolteur comporte un rhéostat de réglage monté en dérivation aux bornes de son enroulement inducteur.

On peut répartir à volonté l'excitation des survolteurs entre les feeders positifs et leurs induits entre les feeders de retour : on le fait au moyen de jeux de fiches, qui rappellent,

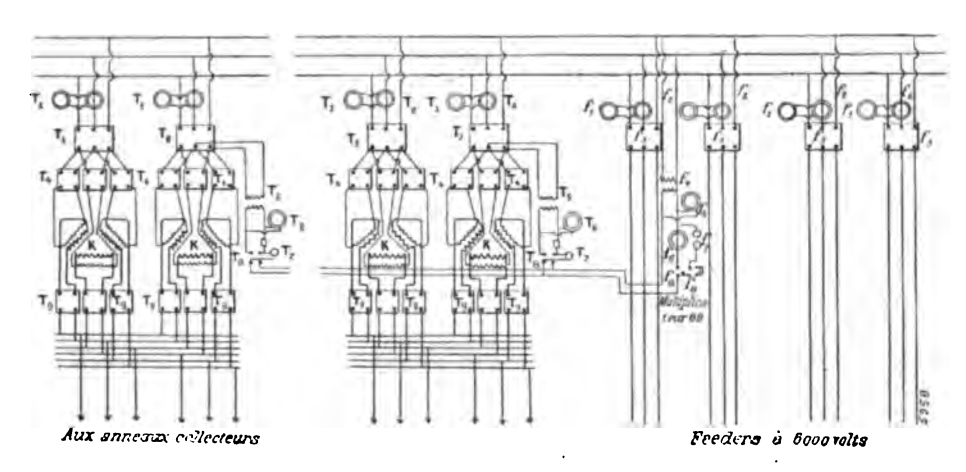


Fig. 16. — Connexions des transformateurs et des feeders à haute tension de la sous-station Dalhousie.

Primaire et secondaire des transformateurs principaux (fig. 16) à gauche : K, Groupes transformateurs de 300 kilowatts — T_1, Ampèremètres pour courants alternatifs, 25 périodes, 0 à 60 ampères. — T_2, Transformateurs d'ampèremètres, 25 périodes. — T_3, Interrupteur tripolaire, double rupture, 100 ampères, 6 500 volts. — T_4, Interrupteurs bipolaires à simple rupture pour primaires de transformateur, 50 ampères, 6 500 volts. — T_5, Transformateur de voltmètre, rapport 6 500 à 250, 25 périodes. — T_6, Voltmètres pour courants alternatifs, 25 périodes, gradués 0 à 10 000 volts, multiplicateur 25. — T_7, Lampe signal, 250 volts. — T_8, Commutateur à fiche pour voltmètre, 4 positions. — T_9, Interrupteurs bipolaires à simple rupture pour secondaires des transformateurs, 500 ampères, 330 volts. — T_{10}, Barres omnibus, section 63 mm par 19 mm.

Panneaux de feeders à 6 000 volts (fig. 16) à droite, section 0,1^{m2} : f_1, Ampèremètres pour courants alternatifs, 25 périodes, 0 à 250 ampères. — f_2, Transformateurs pour ampèremètres, 25 périodes. — f_3, Interrupteurs tripolaires à double rupture pour 150 ampères et 6 500 volts. — f_4, Transformateur pour synchronisation, rapport 6 500 à 250. — f_5, Voltmètre au secondaire du transformateur, gradué de 0 à 10 000 volts. — f_6, Voltmètre de synchronisation, 0 à 500 volts, gradué de 0 à 15 000 volts. — f_7, Lampes de synchronisation, 250 volts. — f_8, Commutateur à fiche pour voltmètre.

bien que de manière un peu plus compliquée, les dispositions bien connues des commutateurs suisses.

Tableaux de distribution (fig. 14 et 15). — Chaque commutatrice a un panneau à courant continu d'*induit* et un PANNEAU D'INDUCTEUR.

Le panneau d'induit comporte :

2 interrupteurs unipolaires à simple direction, 1 200 ampères à rupture brusque.

1 disjoncteur automatique, 1 200 à 2 000 ampères.

1 ampèremètre principal de 0 à 1 500 ampères.

1 compteur pour 1 000 ampères et 500 volts.

1 rhéostat de démarrage et son interrupteur.

1 jeu de fiches.

Il y a un panneau d'inducteur pour chaque commutatrice, portant 2 ampèremètres d'excitation à échelle symétrique graduée de 0 à 60 ampères de chaque côté.

2 interrupteurs d'excitation bipolaires avec résistance de décharge et lampe.

2 rhéostats de champ.

Le panneau des sous-stations porte un ampèremètre de 0 à 10 000 ampères, le voltmètre



de la sous-station, un voltmètre des machines et un compteur de 10 000 ampères, 500 volts.

Il y a 3 PANNEAUX D'INDUIT et 3 PANNEAUX D'INDUCTEURS pour les survolteurs.

Les premiers comportent :

3 ampèremètres de 0 à 1 200 ampères.

3 interrupteurs unipolaires pour 1 200 ampères à rupture brusque.

3 jeux de fiches pour voltmètre.

Des fiches de connexion au retour des rails. Chacun des 3 panneaux d'excitation comporte :

3 ampèremètres.

3 interrupteurs unipolaires à rupture rapide.

3 rhéostats d'excitation de survolteur.

Des fiches de connexion aux feeders positifs.

Les panneaux sont reliés aux survolteurs par des câbles isolés au papier ; section de conducteur : 6,25 cm².

Les FEEDERS aboutissent par groupes de 3 aux panneaux d'alimentation, chaque feeder est protégé par un parafoudre et sa bobine de réactance (600 ampères).

Chaque panneau de feeder comporte en plus : un disjoncteur, un ampèremètre, un interrupteur unipolaire à double direction à rupture brusque, et les fiches permettant toute association voulue des feeders et des survolteurs.

Le tableau à courant alternatif est placé de l'autre côté des sous-stations.

(*A suivre.*)

P. LETHEULE.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION

Sur la fabrication des tôles pour induits dentés, par **R. Hundhausen.** *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 1095, 18 décembre 1902.

Le poinçonnage des tôles pour induits dentés

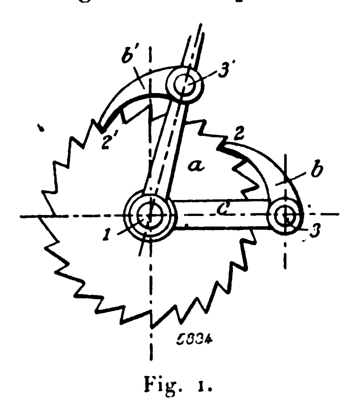


Fig. 1.

peut se faire de deux façons différentes : soit en découpant d'un seul coup la tôle, et toutes les encoches de la périphérie, procédé qui nécessite des machines extrêmement coûteuses, mais présente l'avantage d'une grande régularité dans la fabrication et d'une grande rapidité ; soit en découpant successivement les diverses encoches,

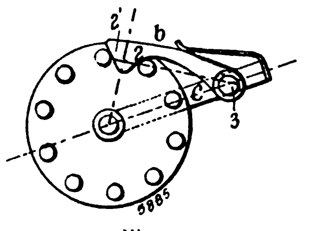


Fig. 2.

au moyen d'un seul poinçon muni de la matrice correspondante et d'un plateau diviseur approprié, procédé moins rapide, mais aussi moins coûteux comme machines.

Parmi les machines remarquables de ce dernier type, presque exclusivement employé, on



peut citer une machine étudiée par l'auteur et présentée par la maison Siemens et Halske à l'Exposition universelle de 1900 à Paris, qui prenait automatiquement les tôles d'un paquet de 1 000 pièces, les poinçonnait encoche par encoche, et empilait la tôle terminée sur une tige placée près de là. L'approvisionnement automatique exigeait 4 secondes par tôle, et la machine donnait 125 coups de poinçon par minute, ce qui permettait de terminer en une minute environ la fabrication d'une tôle de 116 dents. Avec l'approvisionnement à la main, l'expérience montre qu'il faut environ d'une demi-minute à une minute pour enlever une tôle et replacer la suivante, de sorte que l'approvisionnement automatique donne finalement un débit total variant d'une fois et demie à deux fois le débit correspondant à l'approvisionnement à la main.

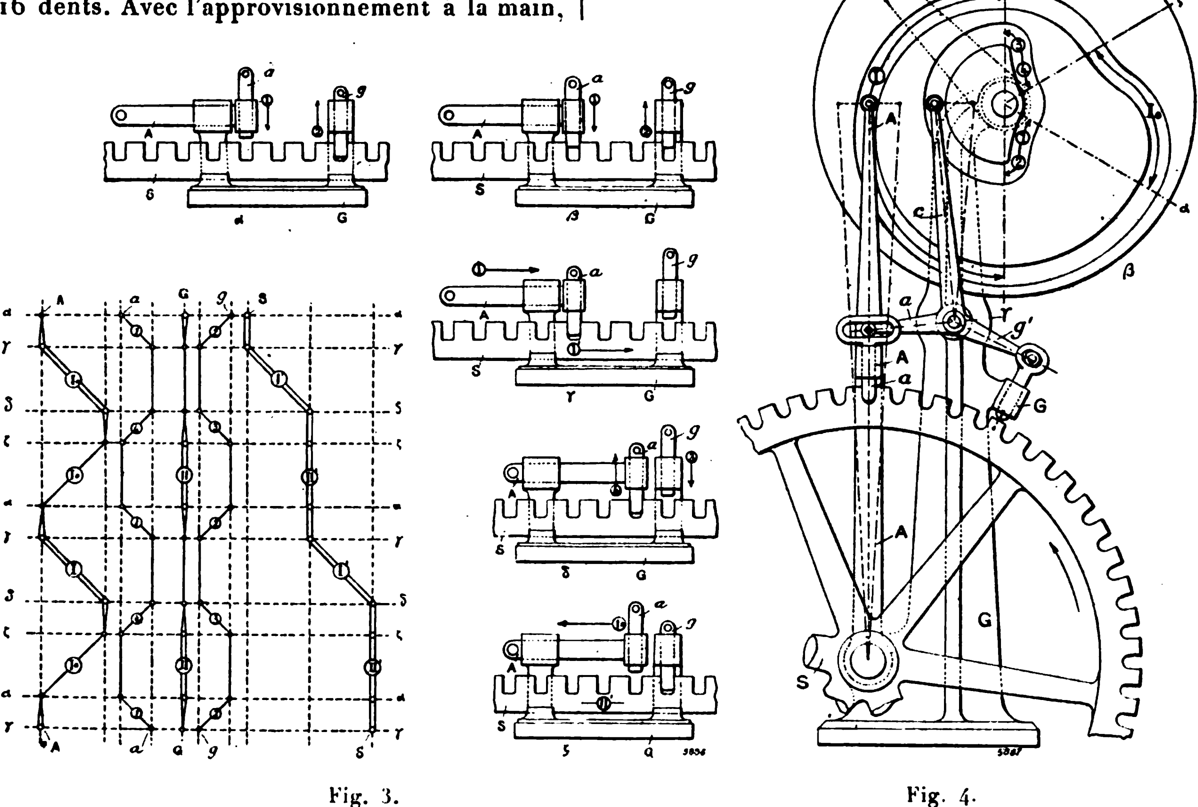


Fig. 3. Fig. 4.

Mais d'autre part, pour passer d'un modèle à un autre, l'opération est très compliquée avec le dispositif à approvisionnement automatique : il faut en effet régler séparément, par rapport au balancier à poinçonner, le bâti des appareils à diviser et à approvisionner, la tringle d'amenée de la tôle à travailler, et la tringle d'évacuation de la tôle terminée ; aussi a-t-on abandonné ce dispositif et s'est-on contenté de l'approvisionnement à main dans les 22 machines qui ont été construites sur les plans de l'auteur, pour l'atelier de l'usine de construction de dynamos de la maison Siemens et Halske.

La difficulté principale dans ces machines est d'obtenir une répartition absolument exacte des encoches à la périphérie de la tôle, malgré les écarts dus à l'inertie des masses mises en mouvement par l'appareil diviseur, inertie par suite de laquelle la tôle tend à continuer son mouvement même après que l'appareil de commande a cessé de l'actionner.

Quand la vitesse maximum acquise par la tôle et le moment d'inertie des masses en mouvement sont faibles, le frottement des différentes parties de l'appareil suffit à arrêter exactement les tôles au point voulu, même si l'appareil

d'entraînement est un simple cliquet, tel que *b*, dans la figure 1, qui peut commander le mouvement dans un sens, mais ne peut à lui seul empêcher la continuation du mouvement commencé.

Le cliquet mobile de la figure 2, à deux arêtes obliques et à ressort permet jusqu'à un certain point d'arrêter le mouvement de l'ensemble, si la force vive ne dépasse pas une certaine limite ; mais la présence du ressort entraine une augmentation assez grande de la dépense d'énergie, et la solution ne peut être considérée comme suffisante pour une machine à marche rapide, d'autant plus que l'usure provenant de frottements sous une pression assez élevée, nécessite de fréquentes réparations et rend la machine peu pratique.

Pour résoudre le problème d'une mise en route rapide et d'un arrêt brusque, quelle que soit la force vive, l'auteur a recours à l'emploi de deux cliquets, l'un à axe fixe, et l'autre à axe mobile.

Le procédé (Brevet allemand n° 109 838) est exposé d'abord schématiquement dans la figure 3.

Dans le diagramme de gauche, les horizontales désignées par des lettres grecques, se rapportent aux différentes positions du mouvement, et les lignes brisées au mouvement lui-même qu'exécutent les cinq pièces du mécanisme, comprenant :

- A, tige de commande ;
- *a*, loquet mobile avec A ;
- G, bâti du mécanisme, naturellement fixe ;
- *g*, loquet solidaire de G ;
- S, pièce à mettre en mouvement (crémaillère).

Les cinq autres dessins de la figure représentent les situations respectives des pièces correspondant aux positions indiquées par les lettres grecques.

Dans la position α (point de départ), la crémaillère est maintenue fixe par le loquet *g* ; en β, position intermédiaire non spécifiée sur le diagramme, le loquet *g* se soulève, le loquet *a* s'enfonce, mais tous deux sont encore en prise avec la crémaillère ; en γ le loquet *g* est complètement soulevé, le loquet *a* complètement en prise le mouvement en avant de la crémaillère, entraînée par la tige A, par l'intermédiaire de *a*, va commencer ; en δ, nous sommes à la fin du mouvement, les loquets conservant encore la même position, mais bientôt *a* se soulève, pendant que *g* retombe pour fixer la crémaillère en ce point : c'est la position ζ ; puis la tige A retourne seule en arrière et l'on se retrouve au point de départ α. Dans tous ces mouvements, il importe absolument que l'un au moins des loquets soit en prise

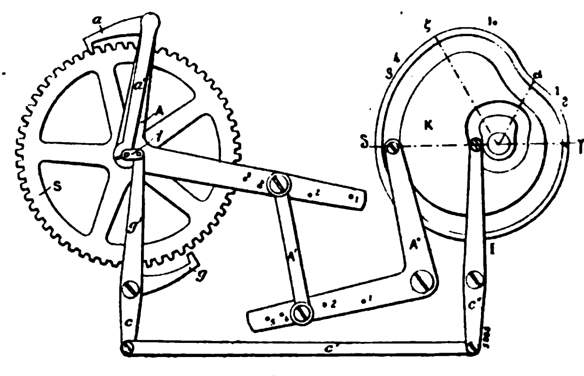


Fig. 5.

avec la crémaillère, et pour cela que le loquet ne quitte pas la crémaillère avant que l'autre ne soit à son tour venu en prise.

La figure 4 montre comment on peut obtenir mécaniquement ces différents mouvements ; on a substitué à la crémaillère S une roue dentée S, et à la tige d'entraînement A, un levier A monté sur le même axe que la roue S. Ce levier A d'une part et les loquets *a* et *g* d'autre part sont commandés par deux rainures excentriques tracées dans un plateau-manivelle K, le levier A direc-

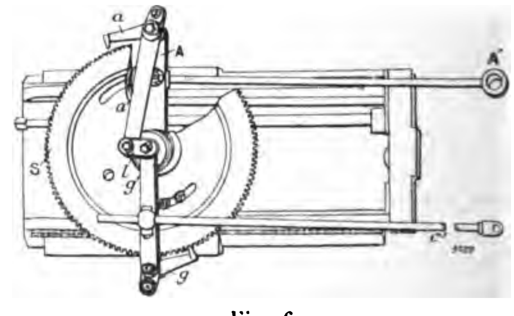


Fig. 6.

tement et les loquets *a* et *g* par l'intermédiaire de deux leviers *a'* et *g'* solidaires d'un levier *c'* commun.

La distribution des différentes parties de la rainure de commande du levier A est faite d'après le principe suivant : une demi-révolution depuis γ jusqu'à δ correspond à la marche en

avant, pendant laquelle il faut mettre en route lentement, accélérer, et arrêter la masse du levier A et de la lourde roue S, l'autre demi-révolution est divisée en trois parties égales affectées l'une au retour à vide du levier A de ζ jusqu'à α, les deux autres de α à γ et de δ à ζ, aux manœuvres des loquets *a* et *g*.

Le modèle pratiquement exécuté, représenté dans la figure 5, a conservé la même répartition des différentes parties de cette rainure. On a seulement remplacé les loquets *a* et *g* par des

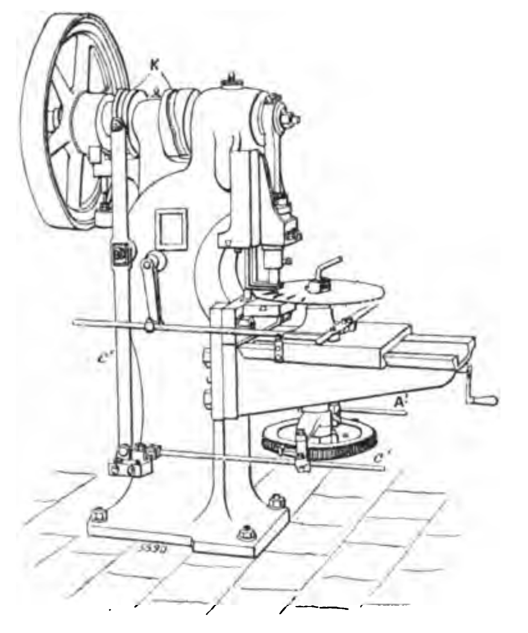


Fig. 7.

cliquets *a* et *g*, *g* mobile autour d'un axe fixé à la partie inférieure du bâti, et *a* autour d'un axe solidaire du levier A. Aux deux cliquets *a* et *g* sont respectivement fixés les leviers x' et g' dont les deux extrémités en regard sont reliées par une biellette *l*, de telle sorte qu'à la fin de leur mouvement, lorsqu'un des cliquets est en prise et l'autre soulevé, l'une des articulations de la biellette se trouve exactement au centre de la roue S, et que par suite pendant le déplacement soit de A seul, soit de A et de S simultanément, le cliquet *a* reste fixe par rapport au levier et franchement abaissé ou franchement soulevé.

La commande du levier A se fait par l'intermédiaire du levier coudé A″ et de la bielle A′, disposition qui permet en modifiant les points d'articulation de la bielle A′ avec A et A″, d'obtenir différentes valeurs du déplacement de A, correspondant à 1, 2, 3, 4 ou 5 dents de la roue S : les chiffres montrent que la combinai-

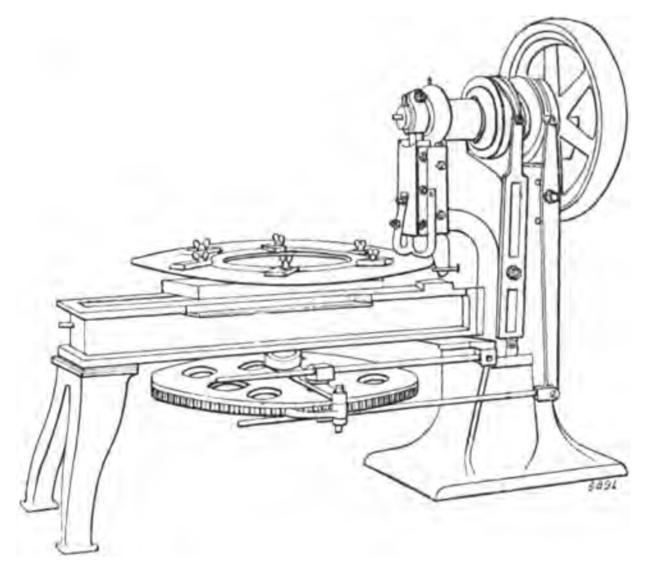


Fig. 8.

son représentée sur la figure correspond à un déplacement de trois dents à la fois.

Les figures suivantes se rapportent à trois modèles de machines exécutées par des constructeurs différents :

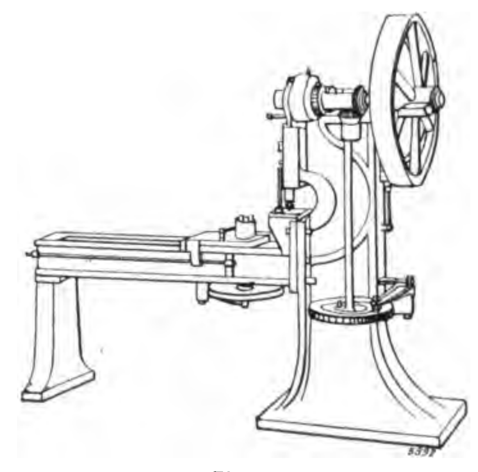


Fig. 9.

Figures 6 et 7, machine exécutée par Rob. Tümmler à Döbeln ; les rainures sont tracées sur deux cylindres et non sur un plateau comme dans la figure 5 ; les bielles c' et A′ sont situées chacune d'un côté de la machine ;

Figure 8, machine sortant des ateliers Max

Hasse et C[ie] à Berlin, dispositif très voisin du précédent, seulement les deux bielles C' et A' sont situées du même côté.

Figure 9, machine de Sponholz et Wrede, à Berlin, dans laquelle les deux rainures excentriques sont, comme dans le modèle initial, disposées sur un plateau horizontal qui est d'ailleurs commandé par engrenages coniques.

A. M.

DIVERS

Nouveaux phénomènes dans le circuit Duddel, par **A. Banti**. *L'Elettricista*, t. XII, p. 1, janvier 1903.

Si dans le dispositif Duddel on enlève le microphone et que l'on remplace les charbons très doux et à âme par des charbons homogènes ordinaires, on observe, en rapprochant les électrodes, des sifflements qui varient d'intensité et de ton avec l'inductance et la capacité du circuit, l'intensité du courant excitateur et la longueur de l'arc.

Le phénomène de l'arc sifflant ne présente pas autant d'intérêt que celui de l'arc chantant, mais il donne lieu à d'intéressantes recherches qui ont fait l'objet de l'étude de M. Banti. Les manifestations sonores de l'arc doivent être considérées comme le phénomène conséquent et non comme le phénomène principal; celui-ci réside dans le mode de distribution de l'électricité dans le circuit.

Les appareils calorimétriques mesurent les valeurs efficaces du courant pulsatoire, dont les appareils genre Weston ne mesurent que les valeurs correspondant au courant continu qui constitue, avec le courant alternatif développé, le courant pulsatoire observé.

Le circuit de l'arc qui comprend la batterie d'accumulateurs est muni d'une forte inductance l. Aux bornes de l'arc est dérivé le circuit comprenant une capacité C et une inductance L.

L'auteur a étudié les effets de l'inductance pour une capacité déterminée et ceux de la capacité pour une inductance fixe.

Il a observé un phénomène nouveau : dans la branche dérivée, les différences de potentiel au condensateur et à l'inductance sont en général plus grandes que la différence de potentiel aux extrémités de la branche même qui les comprend.

Aussi, aux extrémités de l'arc, on aura, par exemple, 49 volts, tandis que l'on a 104 volts au condensateur et 91 à l'inductance.

L'explication donnée par M. Banti conduit à admettre que les différences de potentiel aux bornes du condensateur et de l'inductance sont de phase opposée et qu'elles sont toutes deux déplacées de phase relativement à la force électromotrice alternative.

L'auteur a étudié la marche des phénomènes présentés par l'arc suivant l'intensité du courant d'excitation et la longueur de l'arc. Il a observé, entre autres, qu'il existe une longueur de l'arc pour laquelle les effets électriques sont maxima.

Le courant qui circule dans la branche qui contient les accumulateurs est un courant continu très légèrement pulsatoire, la forte inductance insérée dans ce circuit (transformateur de 10 kilowatts) empêche le passage du courant alternatif.

Dans le circuit dérivé, après une impulsion première due à la charge du condensateur, on n'observe que du courant alternatif simple.

Enfin, dans la branche qui contient l'arc, il y a un courant fortement pulsatoire.

Etudiant, par l'analyseur magnéto-optique, le courant qui traverse le circuit dérivé, M. Banti a obtenu une photographie de l'onde qui montre bien que ce courant alternatif résulte de la combinaison de plusieurs oscillations simples, confirmation du résultat obtenu antérieurement par MM. Ascoli et Manzetti [1].

En supposant néanmoins que le courant est sinusoïdal, afin de simplifier les calculs, l'auteur a calculé la fréquence et obtenu des valeurs élevées jusqu'à 240 000. La fréquence s'abaisse quand la capacité et l'inductance du circuit dérivé augmentent. Si l'on modifie le circuit tout en laissant constant le produit LC, les valeurs de la fréquence ne sont pas fixes comme le voudrait la formule $\frac{1}{n} = T = 2\pi\sqrt{LC}$.

Ainsi, on a

L	C	n
0,048	1	13 000
0,012	4	8 500
0,003	16	2 750

(1) *Rendiconti dei Lincei*, t. XI, p. 11, 6 juillet 1902.

La capacité influe sur la diminution de la fréquence d'une manière plus prononcée que l'inductance.

M. Banti a terminé cette étude en employant des électrodes métalliques. Les métaux expérimentés ont été le fer, l'argentan, l'aluminium, le zinc et le cuivre.

Quand les deux électrodes sont métalliques, l'arc qui brillait au passage du seul courant continu s'interrompt dès que l'on ferme le circuit dérivé. Pour obtenir les phénomènes il est indispensable que l'électrode positive soit en charbon. Dans ces conditions, le fer ne donne rien, l'aluminium donne un phénomène très fugace, à peine perceptible, et l'arc s'interrompt; avec l'argentan, les phénomènes sont déjà meilleurs, mais avec le cuivre ils sont très nets et même plus intenses que si les deux électrodes sont en charbon. On peut observer, pour un potentiel alternatif de 55 volts aux pôles de l'arc, 120 et 125 volts au condensateur et à l'inductance. Mais la stabilité de l'arc est moindre qu'avec les charbons.

Enfin, le zinc ne permet pas de faire d'observations à cause de la combustion rapide de l'électrode. G. Goisot.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS

Section de Birmingham.

Séance du 21 janvier 1903.

Emploi des moteurs à gaz dans toutes les stations centrales d'éclairage électrique, par **M. Graham**. *Electrical Review* (Londres), numéro du 6 février 1903, p. 242-244.

Le moteur à gaz de type courant est impropre à la commande des dynamos d'éclairage, soit par couplage direct, soit par courroie, en raison de sa trop grande variation de vitesse entre la pleine et la demi-charge.

Pour établir un moteur à gaz destiné à l'éclairage électrique, la première chose à considérer est le volant. Ceux des moteurs actuels étant ou trop légers ou d'un diamètre trop faible, on a le choix entre trois déterminations :

1° Accroître le poids de la jante;

2° Accroître le diamètre du volant;

3° Accroître modérément le poids de la jante et le diamètre du volant.

Le mieux serait d'accroître seulement le diamètre, puisque le poids de jante nécessaire varie en raison inverse du carré du diamètre, mais cette dilatation des volants est arrêtée trop tôt par la limite de vitesse périphérique. Si l'on accroît seulement le poids des jantes, on augmente ainsi beaucoup le prix et l'on abaisse en même temps le rendement mécanique de la machine, l'inertie à vaincre devenant plus grande. La meilleure méthode consiste donc à accroître le diamètre des volants jusqu'à ce que la vitesse périphérique de chacun d'eux soit de 25 mètres par seconde et d'ajouter alors aux jantes le poids de métal nécessaire. Cet accroissement de poids des volants exige un arbre de plus fort diamètre, qui nécessite à son tour des surfaces de portage plus grandes. Ayant donc changé les volants, l'arbre, les coussinets et, par suite aussi, la plaque de fondation, on a, en réalité, changé tout le moteur, et peut-être serait-il plus économique d'en construire un autre spécialement adapté à l'objet en vue. Dans ce cas, il sera préférable de ne mettre qu'un volant, de dimensions et de poids suffisants, qui sera placé à gauche de la machine, les appareils de réglage étant à droite; on supprimera ainsi une cause de danger pour le personnel.

Dans les hôtels, hôpitaux, maisons particulières et aussi dans beaucoup d'établissements commerciaux, on réclame un silence relatif. Le meilleur moyen pour l'obtenir consiste à placer le moteur dans un bâtiment séparé; on se sert d'un levier pour manœuvrer, de l'édifice principal, le robinet réglant l'arrivée du gaz.

L'allumage donne lieu, aujourd'hui encore, à quelques ennuis, quel que soit le mode employé, tube en fer, en terre réfractaire ou en porcelaine. On peut, en moins de deux minutes, l'amener à la température nécessaire pour l'allumage de la première cylindrée et il suffit, pour le maintenir incandescent, de faire passer

de 60 à 80 litres de gaz par heure dans un bec Bunsen. Mais pour empêcher que sa rupture ne soit cause de l'arrêt du moteur, l'auteur a imaginé la disposition suivante : on adapte au moteur un allumage électrique qui n'entre en fonction qu'en cas d'accident. Le tube supporte un levier qui, lorsque la rupture se produit, ferme un interrupteur placé sur le circuit d'allumage électrique. Ce levier ferme en même temps la soupape d'allumage et met en mouvement une sonnette d'alarme.

Peu de constructeurs se préoccupent d'adopter un dispositif permettant le rattrapage du jeu produit par l'usure à l'articulation du pied de bielle, et les chocs qui s'ensuivent sont très nuisibles à la dynamo actionnée par le moteur. D'autre part, les graisseurs automatiques employés aujourd'hui sont peu satisfaisants au point de vue de la régularité de l'écoulement d'huile; l'auteur en présente un nouveau qui permet de proportionner l'écoulement à la vitesse du moteur.

L'auteur traite, en terminant, de la consommation de gaz par unité de travail. Il arrive souvent qu'un moteur pour lequel la consommation garantie est de 450 litres par cheval-heure est rejeté en faveur d'un autre qui consomme 12 ou 15 litres de moins, mais dont le prix est de 20 p. 100 plus élevé, alors que les chaleurs de combustion des gaz auxquels se rapportent css chiffres peuvent être de valeur très différente, beaucoup plus faible, par exemple, pour le premier moteur que pour le second. Dans ce cas, on aurait eu avantage à choisir le moteur à bas prix. Il faut remarquer à ce propos que le pouvoir éclairant d'un gaz n'a aucune relation déterminée avec sa chaleur de combustion. C'est cette dernière constante que les propriétaires de moteurs à gaz devraient connaître pour le gaz qu'ils emploient, tandis qu'ils se contentent jusqu'ici de connaître son pouvoir éclairant. P. L.

Section de Dublin

Séance du 12 décembre 1902.

Note sur la durée des poteaux télégraphiques créosotés, par **A. T. Kinsey**. *Electrician*, n° du 9 janvier 1903, page 485.

On préfère les poteaux de bois à ceux de fer ou d'acier, surtout par raison d'économie : le bois coûte environ trois fois moins cher que le fer. Il est cependant nécessaire de faire subir au bois certains traitements qui empêchent l'attaque de la pourriture sèche ou humide. On a employé divers procédés, mais le créosotage, très répandu aujourd'hui, est le seul pratique.

Un des meilleurs bois pour poteaux est le sapin rouge de Norwège, mais quel que soit celui qu'on emploie, il doit être parfaitement durci et séché avant tout traitement. La quantité de créosote injectée doit être de 100 gr par centimètre cube de bois. Quand le bois est très dense, elle ne pénètre que dans une épaisseur de 3 à 5 cm. Il reste donc une partie non protégée, comprenant le cœur du poteau et le contour intérieur de la zone créosotée. C'est là que prend naissance la pourriture sèche, elle envahit la zone d'injection et laisse le cœur plus ou moins intact, mais elle est relativement rare. On constate qu'à la longue la créosote descend du sommet à la base du poteau, en formant une croûte épaisse à la surface ; elle le protège ainsi très efficacement contre la pourriture humide, dont l'attaque vient du dehors et se propage à l'intérieur.

On a reconnu qu'en Angleterre la durée des poteaux ainsi traités est de trente ans. Des poteaux datant de 1849 et 1850 et abattus en 1880 étaient sous tous rapports aussi sains qu'à l'époque de leur plantation. Depuis cette date la qualité de la créosote a baissé en raison de l'augmentation de valeur de certaines substances entrant dans sa composition et l'auteur a cru bon de faire de nouvelles recherches sur ce sujet. Il a trouvé en Irlande des poteaux créosotés datant de 1858, mais c'est seulement en 1873 que l'administration a commencé à faire marquer au fer chaud sur les poteaux la date de l'injection de créosote de sorte qu'on ne peut établir l'identité certaine des poteaux créosotés plus tôt. L'examen par percussion des poteaux ainsi marqués, à la base et à une hauteur de 7 mètres, les a fait reconnaître parfaitement sains.

Les poteaux datant de 1877, qu'on vient d'abattre en masse, valent la peine d'être replantés, car ils sont en apparence aussi bons qu'à l'état neuf, après vingt-cinq ans de service.

P. L.



SECTION DE LEEDS

Séance du 19 février 1903.

Distribution de puissance motrice par les stations centrales, par **R.-A. Chattock**. *Electrical Times*, p. 338, 26 février 1903.

Les ingénieurs de stations centrales se préoccupent depuis longtemps de développer l'utilisation de l'énergie électrique comme puissance motrice chez leurs abonnés. Depuis deux ou trois ans, les efforts tentés dans cette voie ont été stimulés par les excellents résultats obtenus dans plusieurs grandes villes. Il est évident qu'étant donné un vaste réseau établi pour distribuer la lumière, l'intérêt des abonnés, comme celui de la Compagnie, est de lui faire débiter le plus de courant possible, particulièrement pendant les heures de la journée, car alors l'augmentation de la puissance fournie et l'amélioration du facteur de charge permettent de produire et de vendre l'énergie à meilleur compte.

Ce sont jusqu'ici les usines produisant l'énergie sous forme de courant continu qui ont donné le plus de développement à la distribution de force motrice. C'est que jusqu'en ces derniers temps le moteur à courant continu a été reconnu comme supérieur au moteur à courant alternatif monophasé par son adaptation plus facile aux conditions existantes, son fonctionnement plus sûr et son rendement plus élevé. Mais les courants à deux ou trois phases, qui se substituent aujourd'hui au courant monophasé, permettent d'obtenir sous ce rapport des résultats comparables à ceux du courant continu.

Il peut y avoir intérêt à décrire brièvement la distribution d'énergie électrique pour force motrice, installée par la municipalité de la ville de Bradford. La distribution se fait par courant continu à la tension de 230 ou de 460 volts. C'est en 1891 que le premier moteur fut branché sur le réseau. Les progrès furent lents jusqu'en 1897, époque à laquelle la municipalité inaugura un système de location de moteurs et en même temps réduisit le prix de l'énergie à 0,25 fr. par unité. En 1896, le rapport de l'énergie vendue sous forme de puissance motrice au débit total était seulement 6,7 p. 100. Ce rapport s'éleva rapidement quand le public eut compris et apprécié les facilités qu'on lui donnait pour l'acquisition des moteurs et quand le tarif de l'énergie eut été abaissé aux taux actuels de 0,20 fr. pour l'usage intermittent et de 0,10 fr. pour l'usage continu. En 1902, il était monté à 49,25 p. 100.

Durant cette même période, il a été possible d'abaisser le tarif, pour le courant fourni aux abonnés d'éclairage, de 0 fr. 60 l'unité en 1892 à 0 fr. 45; moins 2,5 p. 100 d'escompte et la fourniture gratuite des lampes, en 1899. Le tarif est resté fixé à ce chiffre jusqu'à l'époque actuelle, mais la municipalité compte pouvoir l'abaisser encore prochainement.

Quand on calcule le prix de revient d'une distribution de force motrice, combinée avec une distribution d'éclairage, il faut se rappeler ce qui suit : le personnel nécessaire à une distribution mixte d'éclairage et de force n'est pas plus nombreux que celui d'une simple distribution d'éclairage. Les frais d'administration, les loyers, contributions et impôts sont les mêmes. Il n'y a que très peu d'extension à donner à la machinerie installée à l'usine génératrice, par ce fait que la plupart des électromoteurs cessent de fonctionner à 5 heures du soir, avant l'instant du débit maximum sur le réseau d'éclairage ; quant à ceux qui fonctionnent encore à ce moment, on peut en toute sécurité assurer leur service en surchargeant légèrement le matériel générateur, pendant une demi-heure par jour et six semaines par an à peu près. Les brouillards assez épais pour nécessiter, pendant la journée, un éclairage égal au maximum, sont très rares; c'est seulement pour une ou deux villes d'Angleterre que cette éventualité doit être prise en considération. La demande de lumière occasionnée par des brouillards ordinaires ne dépassant pas 75 p. 100 du maximum, on constate en pratique que le matériel générateur installé pour l'éclairage suffit à assurer de façon satisfaisante la distribution de la force motrice.

Les mêmes considérations s'appliquent au réseau. La pratique montre que la plupart des moteurs sont branchés sur les canalisations qui ont été installées pour la distribution de lumière, de sorte que le courant qu'ils consomment contribue à l'utilisation des câbles pendant les heures de la journée. Ceci compense les faibles extensions qu'il peut être nécessaire de faire pour les clients placés en dehors du réseau. Quant aux extensions importantes, elles doivent

être examinées à part, et si le bénéfice que l'on compte en tirer ne représente pas un certain taux pour cent des frais qu'elles nécessitent, il faut y renoncer, à moins, naturellement que le client ne consente à prendre à sa charge une partie des frais.

Le bénéfice minimum que doit rendre une extension du réseau diffère selon les localités; l'expérience seule peut le déterminer. On a adopté, pour la ville de Bradford, le taux de 10 p. 100.

On peut donc tenir pour certain que les dépenses suivantes :

Salaires du personnel de l'usine génératrice;

Administration, loyers, contributions et impôts;

Charges fixes du capital immobilisé à l'usine génératrice et dans les canalisations,

n'ont pas à figurer dans l'évaluation du prix de revient de l'énergie motrice électrique.

Les dépenses qui doivent y figurer sont les suivantes. Il faut les évaluer en prenant pour base l'énergie totale distribuée :

Charbon;

Eau;

Huile;

Réparation et entretien du matériel générateur et des canalisations.

Il s'agit maintenant de fixer le prix de vente. Depuis quatre ans, à Bradford, on fait payer 0,10 fr l'unité pour les moteurs qui sont en fonctionnement continuel pendant les heures ouvrables de la journée, et 0,29 fr l'unité pour les moteurs à fonctionnement discontinu. Ce système paraît assez satisfaisent; on peut cependant lui faire quelques reproches. Par exemple, certains abonnés employant des moteurs à marche intermittente consomment un bien plus grand nombre d'unités par cheval-heure installé que d'autres dont les moteurs marchent sans arrêt; de plus, il est souvent très difficile de décider si le fonctionnement d'un moteur est intermittent ou continu.

Le système de tarification basé sur la demande maxima n'est pas aussi facilement applicable à une distribution d'énergie motrice qu'à une distribution de lumière, à cause de la nature variable de la charge d'un moteur et des fortes et brusques surcharges qui peuvent se produire.

Il semble que le meilleur système de tarification serait une taxe graduée basée sur le nombre d'unités consommées par cheval installé et par semestre. Cette taxe pourrait être ainsi établie : 0,10 fr, 0,15 fr, 0,20 fr, 0,25 fr par unité.

Si l'on compare les frais d'exploitation d'un moteur à gaz avec ceux d'un moteur électrique, le gaz étant tarifé à 0,10 fr le mètre cube et l'énergie électrique à 0,10 fr le kilowatt-heure, on constate que la dépense est beaucoup plus faible pour le moteur électrique que pour le moteur à gaz; dans certains cas elle est moitié moindre, dans d'autres elle est à peu près la même. Toutefois cette égalité approximative n'a lieu que si le moteur commande un arbre de grande longueur dont la charge est forte et constante, ce qui est le cas idéal pour le moteur à gaz. Quand la charge est sujette à de grandes variations, comme avec les appareils de levage et les machines d'extraction, le moteur électrique, même au tarif de 0,20 fr le kilowatt-heure, fait réaliser une grande économie par rapport au moteur à gaz. Cela s'explique par la facilité d'arrêt et de démarrage qui permet au moteur électrique de suivre constamment les exigences du service.

Ainsi, pour que l'énergie électrique soit plus économique que le gaz à 0,10 fr le mètre cube, il faut la tarifer de 0,10 à 0,20 fr le kilowatt-heure.

Le prix de location du moteur doit être aussi bas que possible; il sera déterminé de façon à ne faire récupérer que les dépenses réellement effectuées. C'est de la vente du courant et non de la location des moteurs qu'on devra chercher à tirer bénéfice.

Les frais qu'entraîne la location sont les suivants :

Intérêt du prix des moteurs et des autres appareils.

Frais d'inspection périodique des moteurs.

Frais d'entretien occasionnés par l'usure normale des moteurs.

Pertes causées par la dépréciation des moteurs.

Dans la ville de Bradfort, les frais d'inspection et d'entretien des moteurs en location pour l'année 1902 se sont élevés à 43 000 francs. Ces moteurs représentaient une puissance totale de 2 996 chevaux.

Selon toute apparence, un droit de location s'élevant à 15 p. 100 du prix des appareils suffit

à couvrir les frais du service et laisse une marge suffisante pour la dépréciation.

L'auteur espère que ces renseignements et données numériques, basés sur l'exploitation du réseau municipal de Bradfort, pourront rendre service aux ingénieurs de stations centrales dans l'établissement d'un service de location de moteurs. P. L.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du 20 février 1903.

M. **Dauvé** présente à la Société un ***Modèle de grande résistance*** obtenue en traçant en zigzag des traits d'aluminium sur du verre (Procédé Margot). Ces traits se produisent, après deux ou trois frottements, avec un morceau d'aluminium limé en ciseau et que l'on guide avec une règle.

Les contacts se prennent facilement en appliqnant sur l'extrémité du trait un morceau de papier d'étain serré, avec interposition de cuir, par une pince métallique munie d'une borne. Les traits sont ensuite recouverts d'un vernis au bitume de Judée.

La résistance ainsi obtenue varie un peu pendant quelques mois, puis elle prend une valeur fixe. Outre son prix de revient très faible, elle présente l'avantage d'être dénuée de capacité et de self-induction.

M. **Brillouin** donne lecture d'un mémoire du lieutenant **Tissot** sur les ***Nouveaux récepteurs magnétiques de Marconi pour la télégraphie sans fil***.

1. Il indique comment cette étude se rattache à l'ensemble des recherches entreprises par le lieutenant Tissot, et dont celui-ci a entretenu la *Société de Physique* à diverses reprises depuis plusieurs années. Pour obtenir la meilleure utilisation de l'énergie fournie par le poste d'émission, et la meilleure disposition des appareils, tant d'émission que de réception, il importe de savoir à quoi l'organe essentiel de la réception est surtout sensible. Est-ce à l'énergie moyenne ? à l'intensité moyenne ? à l'intensité maxima ? au choc du front de l'onde ? Et réciproquement, pour l'étude de la propagation même de l'onde, il importe d'utiliser des récepteurs variés. Outre le tube à limailles, dont on n'obtient des indications quantitatives qu'au prix d'observations multipliées, le lieutenant Tissot a employé un bolomètre, analogue à celui de Rubens, de sensibilité suffisante pour *mesurer* l'énergie reçue par une antenne à 4 km du poste d'émission.

Sur les conseils de M. Brillouin, le lieutenant Tissot a employé aussi, à cette même distance de 4 km, le récepteur à désaimantation de Rutherford (1), qui, d'après les recherches antérieures de lord Rayleig (2), est sensible presque exclusivement à l'intensité maximum du courant dans l'antenne réceptrice.

Ce récepteur, que Rutherford avait pu employer pour les ondes de l'excitateur de Herz jusqu'à 1 km environ, est constitué par une hélice, intercalée entre l'antenne et la terre, dans laquelle est placée un faisceau de fines aiguilles d'acier aimantées à saturation ; la diminution d'aimantation due au passage de l'onde est indiquée par la déviation d'un équipage astatique voisin. Un dispositif auxiliaire permet de réaimanter l'aiguille à saturation de temps en temps.

Ce dispositif dont le mémoire de Rutherford et un mémoire plus récent de miss Brooks (3) ont montré la fidélite, a été employé concuremment avec le bolomètre, en septembre et octobre 1902, entre deux postes situés à 4 km, pour les recherches théoriques indiquées ci-dessus, dont on rendra compte ultérieurement.

2. Le récepteur d'ondes de Rutherford n'est qu'un précieux instrument de recherches scientifiques ; le montage est délicat ; la sensibilité est médiocre, mais régulière.

M. Marconi (4) lui a fait subir deux transformations, qui, sans diminuer sa fidélité, l'ont rendu merveilleusement sensible (5). D'abord, il a remplacé le magnétomètre par le téléphone : outre l'enroulement relié à l'antenne, le faisceau aimanté est entouré d'une autre bobine reliée au téléphone ; chaque chute d'aimantation produit un bruit qui permet la réception (mais qui ne permettrait pas des mesures). En outre, M. Marconi — probablement en cherchant un dispositif mécanique pour rétablir la saturation qui est, d'après les recherches de Rutherford,

(1) *Phil. Trans.*, 1897.

(2) *Œuvres*, t. II, 1870.

(3) *Phil. Mag.*, 1901.

(4) Conférence à la *Royal Institution*, 13 juin 1902.

(5) *L'Éclairage Électrique*, 3 et 10 janvier 1902.

nécessaire à la sensibilité — a été conduit à placer le faisceau aimanté dans un champ magnétique intense à renversement périodique assez fréquent. Il a décrit récemment plusieurs dispositifs de ce genre. C'est avec eux qu'ont été effectuées, en juillet 1902, sur le *Carlo-Alberto*, les expériences de transmission de dépêches complètes, à très grande distance. D'après le rapport du lieutenant Solari [1], M. Marconi a reçu, à travers la France entière, d'Irlande en Sardaigne, à plus de 1 500 km, une dépêche complète, non sans peine à la vérité. Les antennes, tant d'émission que de réception, sont remplacées par des réseaux de fils couvrant des surfaces d'un quart d'hectare ; à l'émission, on peut tirer de toute l'antenne des étincelles de 30 cm.

3. M. Marconi donne du phénomène qu'il utilise une explication qui le rendrait tout à fait différent de celui de Rutherford, et ferait jouer à la variabilité du champ magnétique auxiliaire un rôle capital. Le passage de l'onde supprimerait le retard *dans le temps*, entre l'aimantation due à la valeur actuelle du champ magnétique auxiliaire.

Or, les expériences de Rutherford montrent l'existence d'une désaimantation intense d'une aiguille saturée ; l'existence d'un phénomène d'hystérésis seule n'est donc pas douteuse, même dans le dispositif de Marconi ; reste à savoir s'il est le seul important, on s'il est au contraire négligeable devant le phénomène de traînage invoqué par Marconi.

Le lieutenant Tissot a entrepris cette étude au laboratoire, en faisant passer dans un récepteur construit d'après les principes de Marconi le courant de décharge d'une capacité.

En variant la capacité, la self-induction et la résistance du circuit de décharge, on peut varier à volonté la forme de la décharge sans changer l'énergie fournie au récepteur.

A égalité d'énergie reçue, les décharges très amorties sont les plus efficaces ; la période de la décharge est indifférente. L'effet paraît bien comparable à un choc.

On peut tracer, par des mesures au magnétomètre, la courbe d'hystérésis du noyau du récepteur Marconi, en fonction de la position de l'aimant qui produit le champ magnétique variable auxiliaire.

Les noyaux qui donnent le plus de sensibilité sont ceux dont le cycle d'aimantation embrasse une grande surface. L'acier, d'ailleurs variable suivant sa nature, sa forme, sa trempe, est très supérieur au fil de fer doux ; le fer doux en limaille fine et propre est très bon.

La sensibilité est indépendante de la vitesse de variation du champ auxiliaire, tant qu'elle n'est pas très grande.

Tout ceci paraît indiquer un phénomène d'hystérésis pure, et est incompatible avec une influence notable du *traînage magnétique*.

En outre, lorsqu'on fait varier lentement le champ auxiliaire, on reconnaît que la sensibilité n'est pas la même dans toutes les phases et qu'elle est la plus grande lorsque l'intensité d'aimantation est décroissante, en valeur absolue (bien que le champ auxiliaire croisse) avec de petites différences d'un échantillon à un autre. Tout ceci paraît indiquer que le phénomène mis en jeu est de même nature que dans les expériences de Rutherford.

Le lieutenant Tissot a également effectué des expériences de transmission à distance, qui confirment à la fois la régularité et la sensibilité du nouveau récepteur. Celle-ci paraît bien au moins comparable à celle des meilleurs cohéreurs. Car la transmission a été excellente à 50 km, sans rien changer aux antennes ordinaires, en n'employant à l'émission qu'une énergie très réduite, correspondant à 0,5 cm seulement de longueur d'étincelle.

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 26 janvier 1903 [1].

Sur les équilibres qui se produisent entre le cuivre, le silicium et le manganèse, et sur le siliciure de manganèse Si^2Mn, par **P. Lebeau**, *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 231-234.

L'étude de l'action d'un grand nombre de

[1] *Rivista Maritima*, oct. 1902. *Voir L'Écl. Électr.*, janvier 1902.

[1] Parmi les communications d'ordre électrique faites à cette séance, nous avons à signaler, outre la communication ci-dessus et les deux analysées dans *L'Éclairage Électrique* du 7 mars (p. 382), une communication de M. Hollard sur l'*existence de peroxydes électrolytiques de plomb, de nickel et de bismuth ;* ce travail sera l'objet d'un article plus étendu qui paraîtra prochainement dans ces colonnes.



métaux sur le siliciure de cuivre a conduit l'auteur à constater que certains d'entre eux, tels que l'argent, l'étain, le zinc, l'aluminium, présentant une réelle affinité pour le cuivre, forment avec ce métal un alliage. Le silicium est mis en liberté et se retrouve, cristallisé dans la masse, après refroidissement. Il est facile de l'en extraire par un traitement aux acides. D'autres métaux au contraire réagissent sur le siliciure de cuivre fondu, en s'emparant du silicium pour produire un siliciure défini, ou en donnant tout à la fois des combinaisons avec le silicium et avec le cuivre. Ces essais ont en outre démontré que le siliciure de cuivre ou même le cuivre silicié fondu était un excellent dissolvant de la plupart des siliciures métalliques et même du silicium.

« Le cuivre silicié pauvre en silicium peut donc être envisagé, dit M. Lebeau, comme un liquide, dans lequel il nous est facile de faire réagir, sur un poids donné d'un métal, des proportions croissantes de silicium. Ce dernier étant introduit sous forme de siliciure de cuivre défini $SiCu^2$, puis sous forme de silicium libre. On peut produire ainsi une série de systèmes chimiques dans lesquels peuvent exister, outre des combinaisons possibles du cuivre et du métal mis en réaction, un ou plusieurs siliciures de ce même métal. La connaissance complète des divers constituants de tels équilibres ne peut guère être obtenue qu'en utilisant à la fois les procédés d'investigation d'ordre chimique, physique et métallographique. Toutefois, si l'on se limite à l'étude des siliciures métalliques existant après la solidification, le problème devient beaucoup plus facile à résoudre. Ces composés sont en effet presque toujours peu attaquables par les réactifs. L'acide azotique, par exemple, qui dissout très facilement le siliciure de cuivre et la plupart des alliages de ce métal, est à peu près sans action sur un très grand nombre de siliciures, ce qui permet d'isoler ces derniers.

« On préparera donc une série de culots métalliques, renfermant en proportions déterminées les éléments cuivre, silicium et métal à combiner ; on pourra ensuite en séparer aisément, à l'aide de réactifs appropriés, des résidus renfermant un ou plusieurs siliciures. Les produits que l'on obtient ainsi sont toujours cristallisés. Par leur analyse et leur examen microscopique, il sera possible d'en déterminer la véritable nature et par suite d'établir dans quelles conditions il faudra se placer pour produire un siliciure défini. »

L'auteur donne ensuite comme exemple l'étude qu'il a faite des composés siliciés du manganèse.

Cette étude méthodique l'a conduit à admettre l'existence des trois siliciures définis de manganèse $SiMn^2$, $SiMn$ et Si^2Mn, en même temps qu'elle lui a permis d'en préciser les conditions de formation. Elle a en outre démontré que pour obtenir les composés persiliciés, qui sont aussi les plus dissociables, il ne suffisait pas de se trouver en présence de silicium libre, mais qu'il fallait encore que ce silicium eût en quelque sorte une certaine concentration dans le mélange. Ce fait est facile à rapprocher de nombreux exemples puisés dans l'étude des solutions salines.

Enfin en utilisant dans d'autres essais des rapports différents pour les poids du cuivre et du manganèse, M. Lebeau a observé dans les variations d'aspect et de composition des produits cristallisés des phénomènes identiques, mais pour des teneurs en silicium total différentes : ce qu'il était d'ailleurs facile de prévoir.

Séance du 2 février 1903.

Sur la polarisation des rayons X, par **R. Blondlot**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 284-286.

Les tentatives faites jusqu'ici pour polariser les rayons X sont demeurées infructueuses. M. Blondlot s'est demandé si les rayons X émis par un tube focus ne seraient pas déjà polarisés dès leur émission, en considérant que les conditions de dissymétrie nécessaires pour que ces rayons puissent être polarisés sont précisément remplies. En effet, chacun des rayons X naît d'un rayon cathodique ; ces deux rayons déterminent un plan, et ainsi, par chacun des rayons X émis par le tube passe un plan dans lequel (ou normalement auquel) ce rayon peut avoir des propriétés particulières : c'est bien la dissymétrie qui correspond à la polarisation.

« Maintenant, ajoute M. Blondlot, si cette polarisation existe, comment la reconnaître ? Il m'est venu à la pensée qu'une petite étincelle, telle que celles dont je me suis servi dans mes recherches sur la vitesse de propagation des

rayons X, pourrait peut-être jouer ici le rôle d'analyseur, attendu que les propriétés d'une étincelle peuvent être différentes dans la direction de sa longueur, d'une part, qui est aussi celle de la force électrique qui la produit, et suivant les directions normales à cette longueur, d'autre part. Partant de là, je disposai un appareil, afin d'obtenir une petite étincelle pendant l'émission des rayons X. »

L'appareil dont parlel'auteur se compose d'un tube à vide cylindrique au deux extrémités duquel se trouvent la cathode et l'anticathode, que nous désignerons par H et H', la première normale à l'axe du tube, la seconde inclinée à 45° sur cet axe. Les deux électrodes sont respectivement reliées aux bornes B et B' d'une bobine de Ruhmkorff par denx fils BH, B'H' recouverts de gutta. Sur chacun de ces fils peut glisser un petit bout de tube de verre A ou A' sur lequel est enroulée l'extrémité d'une fil de cuivre également recouvert de gutta ; les deux fils, dont il est question en dernier lieu, sont torsadés et leurs extrémités libres C C' terminées en pointe, sont maintenues à une très petite distance, variable à volonté, de manière à former un petit excitateur à étincelles. En vertu de cette disposition, l'influence électrostatique exercée par les fils BH et B'H' sur les boucles A et A' produit, à chaque courant de rupture de la bobine, une petite étincelle, à la coupure CC' en même temps que des rayons X sont émis par le tube. Grâce à la flexibilité des fils AC, A'C', on peut orienter d'une manière quelconque la droite CC', suivant laquelle l'étincelle jaillit. Une feuille carrée d'aluminium, ayant 0,40 m de côté, est interposée entre le tube et l'étincelle, de façon à empêcher toute influence directe des électrodes du tube sur CC'.

« Afin de définir aisément les positions relatives du tube et de l'étincelle CC', prenons trois axes rectangulaires dont l'un, OZ, est vertical.

« Assujettissons le tube focus de façon que sa longueur, et par conséquent aussi le faisceau cathodique, coïncide avec OY, l'anticathode étant placée vers l'origine et envoyant des rayons X sur les x positifs.

» Plaçons la coupure cc'' en un point de la partie positive de l'axe OX, de façon que sa direction soit parallèle à OY. L'étincelle étant convenablement réglée, on constate que les rayons X agissent sur elle en augmentant son éclat, car l'interposition d'une lame de plomb ou de verre la diminue manifestement.

» Maintenant, sans changer la coupure de place, faisons-la tourner de façon à la rendre parallèle à OZ, c'est-à-dire normale aux rayons cathodiques. On constate alors que l'action des rayons X sur l'étincelle a disparu : le plomb ou le verre interposés n'en diminuent plus l'éclat.

» Les rayons X ont donc un *plan d'action*, qui est celui qui passe par chaque rayon X et le rayon cathodique générateur. Si l'on donne à la coupure des orientations intermédiaires entre les deux précédentes. on voit l'action diminuer depuis la position horizontale jusqu'à la verticale.

» Voici une autre expérience, plus frappante encore :

» Si l'on fait tourner l'étincelle autour de OX comme axe, parallèlement au plan YOZ, on voit l'étincelle passer d'un maximum d'éclat, quand elle est horizontale, à un maximum d'éclat, quand elle est verticale. Ces variations d'éclat sont pareilles à celles que l'on voit en observant un faisceau de lumière polarisée à travers un nicol que l'on fait tourner : la petite étincelle joue le rôle d'analyseur. Le faisceau de rayon X a la même dissymétrie qu'un faisceau de lumière polarisée : il a, suivant l'expression de Newton, des côtés différents les uns des autres ; autrement dit, il est *polarisé*, en prenant ce mot dans son acceptation la plus large.

» Le phénomène est aisément observable quand l'étincelle est bien réglée : il faut, pour cela, qu'elle soit extrêmement courte et faible.

» Si l'on fait tourner le tube focus autour de son axe, lequel est parallèle aux rayons cathodiques, les phénomènes observés ne changent pas (tant que les rayons X atteignent la coupure). Le plan d'action est donc indépendant de l'orientation de l'anticathode : c'est toujours le plan qui passe par le rayon X et le rayon cathodique générateur.

» L'étincelle étant disposée dans ce plan d'action, si l'on change son orientation dans ce plan, on constate que l'action qu'elle reçoit des rayons X est maximum quand elle leur est normale, et nulle quand elle leur est parallèle (ou presque parallèle).

» Maintenant, un rayon X et son rayon cathodique générateur ne définissent un plan que si leurs directions sont différentes. Or, parmi les

rayons X émis, il y en a dont la direction est la même à peu de chose près que celle des rayons cathodiques : ce sont ceux qui rasent la cathode. On doit s'attendre à les trouver très incomplètement polarisés ; c'est, en effet, ce que j'ai reconnu à l'aide de la petite étincelle.

» J'ai constaté plusieurs faits importants, que je ne ferai toutefois que mentionner aujourd'hui. Le quartz et le sucre en morceaux font tourner le plan de polarisation des rayons X dans le même sens que celui de la lumière ; j'ai obtenu des rotations de 40°.

» Les rayons secondaires, dits *rayons* δ, sont également polarisés. Les substances actives font tourner leur plan de polarisation en sens contraire de celui de la lumière ; j'ai observé des rotations de 18°.

» Il est extrêmement probable que la rotation magnétique existe aussi, tant pour les rayons X que pour les rayons δ. On peut penser également que les propriétés de ces rayons, relatives à la polarisation, s'étendent aux rayons tertiaires, etc. »

Influence réciproque de deux oscillateurs voisins. — Caractère particulier des discontinuités, par **Marcel Brillouin**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 301-303.

« 1. — Considérons deux corps oscillants, dont les mouvements sont définis par les équations

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2h\frac{dx}{dt} + (a^2+h^2)x = X,$$
$$\frac{d^2y}{dt^2} + 2k\frac{dy}{dt} + (b^2+k^2)y = Y,$$

sous l'influence des forces extérieures X, Y.

» Si ces deux corps sont plongés dans un même milieu, propageant avec une vitesse déterminée Ω les actions subies, il faut compter dans X, Y les forces transmises par le milieu, avec un retard qui dépend de la distance.

» Si les deux corps sont du même type, cette force transmise a le caractère d'une *action mutuelle retardée*, et prend la forme

$$AM\left(y+\tau\frac{dy}{dt}+m\tau^2\frac{d^2y}{dt^2}\right)_{t-\tau} \text{ dans X},$$
$$BM\left(x+\tau\frac{dx}{dt}+m\tau^2\frac{d^2x}{dt^2}\right)_{t-\tau} \text{ dans Y},$$

A, B sont les inverses des masses du corps x et du corps y.

» M, m sont des coefficients dépendant de la distance et de l'orientation des oscillateurs, dont la forme particulière diffère d'un type d'oscillateur à un autre. Pour deux petits oscillateurs de Hertz, dans le vide, on a [1]

$$M = \frac{3\cos\theta\cos\theta' - \cos\varepsilon}{r^2},$$
$$m = \frac{\cos\theta\cos\theta' - \cos\varepsilon}{3\cos\theta\cos\theta' - \cos\varepsilon}.$$

» τ est le temps $r:\Omega$ de parcours d'un oscillateur à l'autre.

» 2. — Le résultat de cette réaction retardée est le suivant :

» Si l'oscillateur X, resté en repos jusqu'à l'époque 0, est brusquement mis en mouvement, il oscille librement jusqu'à l'époque 2τ. A l'époque τ, l'oscillateur Y, atteint par la réaction de X, entre en mouvement, et, à l'époque 2τ, sa réaction atteint X, etc. — De l'époque $2n\tau$ à l'époque $(2n+2)\tau$, X oscille, sous l'influence de l'action émise par Y, de $(2n-1)\tau$ à $(2n+1)\tau$, laquelle provenait de l'émission de X entre $(2n-2)\tau$ et $2n\tau$. X est la somme de quatre termes :

$$P_n\varepsilon^{-ht}\cos at + P'_n\varepsilon^{-ht}\sin at + q_n\varepsilon^{-kt}\cos bt + q'_n\varepsilon^{-kt}\sin bt,$$

et *dans cet intervalle* $2n\tau$, $(2n+2)\tau$, P_n *et* P'_n, *sont des polynomes de degré n en t* ; q_n, q'_n *sont de degré* $n-1$.

» Ce caractère n'est nullement limité aux oscillateurs électriques.

» 3. — L'*impulsion initiale*, qui a mis l'oscillateur X en mouvement, se transmet aussi, et se reproduit à chaque intervalle 2τ, mais *en changeant progressivement de caractère*. Soient x_0 le déplacement initial et x'_0 la vitesse initiale du premier oscillateur produits pendant le temps très court $0-\theta$. Intégrant l'équation du second excitateur de τ à $t<\tau+\theta$, on trouve x et y restant finis :

$$y'_{t+\tau} + 2ky_\tau = BM[\tau x_t + m\tau^2 x'_t]. \qquad (1)$$

» Intégrant une seconde fois de τ à $\tau+\theta$ il vient

$$y_{\theta+\tau} = BM\, m\tau^2 x_0. \qquad (2)$$

» L'intervalle θ étant très court, indiquons

[1] *Annales de Chimie et de Physique*, 7e série, t. XXVII, p. 20.

par θ une variation brusque; les équations (1) et (2) donnent

$$\delta y_\tau = \mathrm{BM}\, m\tau^2 \delta x_0,$$
$$\delta y'_\tau = \mathrm{BM}\, m\tau^2 \delta x'_0 + \mathrm{BM}\,\tau\,(1 - 2\,km\tau)\,\delta x_0.$$

» Par suite de la propagation et de l'amortissement, l'impulsion transmise a un caractère qui n'est pas connu dans la Mécanique classique.

» *Un déplacement brusque* δx_0 *du premier oscillateur produit*, non seulement un déplacement brusque du second, mais aussi *une variation brusque de vitesse*.

$$\mathrm{BM}\tau\,(1 - 2\,km\tau)\,\delta x_0.$$

» On voit facilement [1] que cette variation brusque de vitesse, due au déplacement brusque du premier oscillateur, s'éteint moins vite que les autres par les répercussions, et finit par être seule importante après un nombre suffisant d'intervalles τ.

» Les répercussions atténuent les discontinuités et transforment le déplacement brusque en variation brusque de vitesse. »

Séance du 9 février [2]

Sur la disparition de la radioactivité induite par le radium sur les corps solides, par **P. Curie** et **J. Danne**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 364-366.

Il résulte des essais relatés dans cette note :

1° La loi de désactivation d'un corps solide est, au bout d'un certain temps (deux heures environ), une loi exponentielle : $I = I_0 l^{-\frac{t}{\theta_1}}$ ou $\theta_1 = 2\,400$ secondes; au début, la disparition de la radioactivité est moins rapide que ne l'indique cette loi.

2° Lorsque la durée d'activation est inférieure à 24 heures, la loi de désactivation pendant les premières heures est fortement altérée.

3° La loi de désactivation exponentielle, applicable à la majorité des substances (Al, Cu, Bi, Pt, Ag, verre, alun, paraffine), ne s'applique pas à certains corps ayant subi une activation longue : après quelques heures, l'activité ne décroît plus que fort lentement (celluloïd, caoutchouc, paraffine, cire).

Séance du 16 février

Sur la radio-activité induite provoquée par les sels d'actinium, par **A. Debierne**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 446-449.

On sait que les composés de radium ont la propriété de rendre radio-actifs d'une façon temporaire les corps placés dans leur voisinage et que le même phénomène se produit avec les composés d'actinium. L'auteur décrit diverses expériences montrant que, si l'activation par les sels d'actinium présente les mêmes caractères généraux que l'activation par les sels de radium, elle peut permettre cependant de distinguer très nettement ces deux corps au point de vue radio-actif.

Lorsque différents corps sont placés dans une enceinte fermée contenant un composé d'actinium, ils deviennent radio-actifs et prennent, comme avec le radium, au bout d'un temps suffisamment long, une radio-activité limite qui dépend de la grandeur de l'enceinte et de l'activité du produit qui y est contenu. Mais, tandis qu'avec le radium cette activation limite est sensiblement uniforme dans toutes les parties de l'enceinte, l'activation provoquée par l'actinium est beaucoup plus intense dans le voisinage immédiat de la source et très faible dans les parties éloignées.

En particulier, le gaz qui entoure les composés d'actinium est rendu fortement radioactif. Le rayonnement émis par ce gaz est même très intense par rapport à celui qui est émis directement par le sel solide. Si, en effet, on chasse continuellement par un courant d'air le gaz placé autour d'un composé d'actinium, on diminue dans de très fortes proportions l'intensité du rayonnement total et, par suite, la radioactivité apparente de ce composé. Ce phénomène ne se produit pas d'une façon sensible avec les sels de radium.

(1) L'étude détaillée paraîtra prochainement aux *Annales de Chimie et de Physique*.

(2) Signalons une note de M.-C. Tissot, sur un *appareil à effet magnétique propre à servir de détecteur d'ondes électriques*, dans laquelle l'auteur fait connaître les résultats des essais relatés dans *L'Éclairage Électrique* des 3 et 10 janvier et dans une communication, analysée plus haut (p. 459) faite à l'avant dernière séance de la Société de Physique.

Le Gérant : C. **NAUD.**

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

C. NAUD, ÉDITEUR, 3, RUE RACINE, PARIS

Abonnements : FRANCE et ALGÉRIE : 50 francs. — UNION POSTALE : 60 francs

Les abonnements partent du commencement de chaque trimestre.

Tome XXXIV | Samedi 28 Mars 1903. | 10e Année. — N° 13

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SUR LES PROPRIÉTÉS MAGNÉTIQUES DES POUDRES DE FER

ET L'AIMANTATION SPÉCIFIQUE A SATURATION

Les expériences antérieures relatives aux poudres magnétiques ont donné des résultats souvent contradictoires ; la raison en est que ces expériences étaient des expériences de comparaison, dans lesquelles on ne tenait pas compte des champs démagnétisants des barreaux étudiés ; or ces champs démagnétisants ont une grande importance pour des barreaux courts et dépendent de la densité en fer, de sorte que deux barreaux semblables, l'un de fer compact, l'autre d'une poudre agglomérée par un procédé quelconque, étant placés dans une même bobine magnétisante parcourue par un même courant, ne sont pas du tout soumis au même champ magnétique.

Pour obtenir des résultats comparables, j'ai fait toutes les mesures en valeur absolue ; j'ai employé pour les champs faibles (de 0 à 150 gauss) la méthode magnétométrique, et pour les champs intenses (1000 à 10 000 gauss) une modification de la méthode de l'isthme ; les résultats obtenus me paraissent présenter un certain intérêt général.

I. Champs faibles. Méthode magnétométrique.

Disposition des expériences.— Les barreaux étudiés étaient obtenus en tassant les poudres dans un tube de verre, ou en les y agglutinant par de la paraffine ; leur longueur (65 à 70 centimètres) valait environ 150 fois le diamètre ; le champ démagnétisant était ainsi, pour ces barreaux, négligeable : pour la valeur 140 du rapport entre la longueur et le diamètre le facteur démagnétisant est $N = 0{,}0023$, c'est-à-dire que le champ démagnétisant est de $0{,}0023.I$, I étant l'intensité d'aimantation, qui dans ces expériences n'a guère

dépassé 70 ; N I est donc au plus égal à $0{,}0023 \times 70 = 0{,}161$; or la valeur du champ magnétisant pour cette valeur de I est environ 150, devant laquelle on peut négliger le champ démagnétisant précédent.

Les barreaux étaient placés verticalement dans l'axe d'une longue bobine (144 centimètres de longueur, 3 centimètres de diamètre), et leur intensité d'aimantation mesurée par l'action sur un magnétomètre placé à la hauteur du pôle inférieur; pour obtenir la valeur absolue de l'intensité d'aimantation, il suffit de connaître les dimensions et d'étalonner le magnétomètre, ce que j'ai fait par l'action d'une longue bobine auxiliaire parcourue par un courant connu.

Construction des barreaux et vérification de leur homogénéité. — Lorsqu'il s'agit de poudres seules moyennement tassées, il est assez facile d'obtenir une homogénéité satisfaisante; cela est plus difficile quand on veut agglutiner la poudre avec de la paraffine ; j'opérais alors ainsi: le tube étant placé dans un grand cylindre rempli d'eau très chaude, on y verse de la paraffine qui s'y maintient bien fluide; on laisse tomber alors la poudre: lorsque la longueur est plus grande que celle qu'on désire, on laisse refroidir lentement ; on enlève ensuite les deux bouts, surtout le haut. Lorsqu'un tel barreau a été étudié, on peut chercher s'il est homogène en le fragmentant et en mesurant la densité de chaque fragment; mais on obtient un bon contrôle de l'homogénéité en fer en procédant ainsi : on fait glisser le barreau suivant l'axe de la bobine magnétisante, où l'on maintient un courant constant; on construit la courbe représentant l'action du barreau sur le magnétomètre en fonction de sa distance à une origine quelconque sur la verticale qu'il parcourt (distance déterminée au moyen d'un ruban divisé fixé au barreau) ; il suffit alors de comparer cette courbe à la courbe théorique qui correspondrait à un cylindre aimanté uniformément, qu'il est facile de construire par points. Les inégalités dans la répartition du fer produisent dans cette courbe des irrégularités qui les décèlent. Je n'ai retenu que les résultats correspondant aux tubes qui avaient fourni de bonnes courbes de ce genre. Les deux maximums de signes contraires que présente cette courbe correspondent, à très peu près, au passage des deux pôles dans le plan horizontal du centre du magnétomètre ; on a ainsi la distance des pôles, qu'on trouve toujours très peu inférieure à celle du barreau. Dans les expériences où on fait varier le champ, le barreau est placé dans la position d'action maximum sur le magnétomètre.

Nature des poudres étudiées. — J'ai étudié la limaille de fer ordinaire, le fer obtenu par réduction de l'oxyde [1], dit fer réduit, et surtout le fer porphyrisé [2], préférable à la limaille parce qu'il est en poudre bien plus fine et au fer réduit parce qu'il renferme beaucoup plus de fer; ces poudres pouvant être en effet partiellement oxydées, j'ai déterminé leur teneur en fer, en cherchant la quantité d'hydrogène que produit l'action d'un acide sur une masse donnée. L'appareil imaginé par M. Job pour la mesure des dégagements gazeux [3] convient bien pour cet objet: la poudre et l'acide sont introduits dans un espace clos, et mélangés seulement alors ; l'hydrogène dégagé produit un excès de pression mesuré par un manomètre à mercure, et d'où l'on déduit facilement, d'après la capacité de l'appareil, la masse d'hydrogène produite. L'appareil que j'ai utilisé aurait accusé pour 1 milligramme de fer pur une augmentation de 2,52 mm de mercure, à 15°. Les essais faits avec des masses de

[1] L'oxyde, préparé par précipitation, est desséché et introduit dans un cylindre de fer qu'on porte au rouge sombre en le faisant parcourir par un courant d'hydrogène ; on laisse refroidir dans une atmosphère d'hydrogène, puis on pulvérise et tamise la poudre. (D'après la maison Poulenc).

[2] Le fer porphyrisé provient d'une seule usine allemande, qui n'a pas indiqué le procédé de fabrication.

[3] A. Job. *Soc. Fr. de Physique*, 20 avril 1900, *Bulletin*, p. 42. Voir aussi *Écl, Élect.*, t. XXVIII, p. 268.



40 à 50 milligrammes ont donné : pour le fer en limaille, 2,118 — 2,045 — 2,225, moyenne 2,129 ; pour le fer réduit, 1,58 mm — 1,52 — 1,55, moyenne 1,55 mm ; pour le fer porphyrisé 2,375 — 2,29 — 2,26, moyenne 2,308. On en conclut que ces poudres contenaient respectivement une proportion de fer pur égale à 0,844 — 0,615 — 0,916. Dans ce qui suivra, j'appellerai d la densité en poudre de fer de chaque noyau étudié ; on aurait la densité en fer pur en multipliant d par les facteurs précédents.

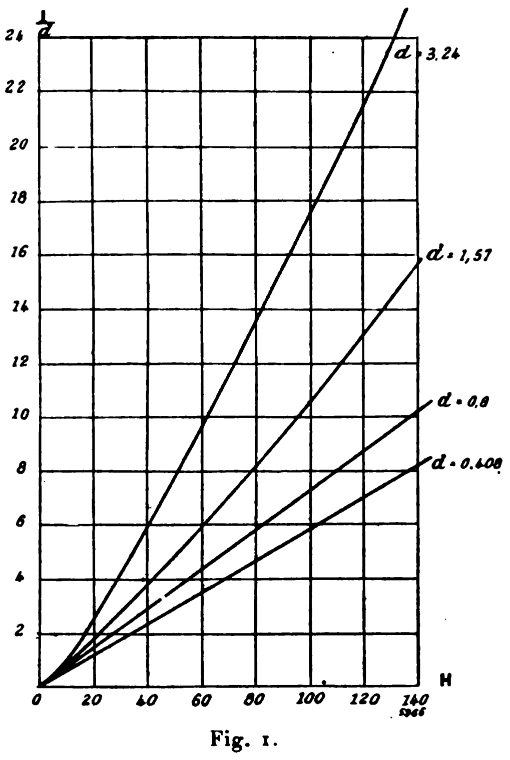


Fig. 1.

Résultats. — Les résultats obtenus sont les mêmes qu'il s'agisse de poudres tassées ou agglutinées [1] ; les nombres indiqués sont les valeurs de l'aimantation spécifique, c'est-à-dire du quotient $S = \frac{I}{d}$ de l'intensité d'aimantation I par la densité en poudre de fer d.

Fer porphyrisé. — Je l'ai étudié à différentes densités, seul ou mélangé avec de la poudre de zinc dans la proportion de $\frac{1}{2}, \frac{1}{4}$ et $\frac{1}{8}$ de fer ; le mélange des deux poudres se fait bien parce qu'elles ont à peu près la même finesse et la même densité. La figure 1 et le tableau suivant donnent les valeurs de $S = \frac{I}{d}$ en fonction du champ magnétisant H.

H		25	50	75	100	125	150 gauss
Fer porphyrisé seul,	$d = 3,24$	3,2	7,7	12,45	17,6	22,6	27,7
$\frac{1}{2}$ fer, $\frac{1}{2}$ zinc	$d = 1,57$	2,3	4,95	7,65	10,57	13,55	»
$\frac{1}{4}$ fer, $\frac{3}{4}$ zinc	$d = 0,8$	1,82	3,6	5,4	7,2	9,02	»
$\frac{1}{8}$ fer, $\frac{7}{8}$ zinc	$d = 0,408$	1,5	3	4,45	5,9	7,43	»

On voit que les valeurs de $\frac{I}{d}$ correspondant à une même valeur du champ sont, pour ces champs faibles, d'autant plus grandes que la densité en fer est elle-même plus grande ; elles sont d'ailleurs pour $d = 3,24$ encore bien plus faibles que pour le fer compact, même le plus dur. Pour $d = 0,408$ et $d = 0,8$ la courbe est une ligne droite, c'est-à-dire que pour ces champs faibles l'intensité d'aimantation est proportionnelle au champ ; pour $d = 1,57$

(1) Avec des barreaux préparés à la manière ordinaire, on trouve bien toujours à peu près les mêmes valeurs, c'est-à-dire que les résultats sont bien définis ; quand on prépare un barreau de poudre tassée en plaçant le tube dans le champ magnétique de la bobine pendant qu'on y fait tomber la poudre, l'intensité d'aimantation est un peu plus grande que celle qu'on obtiendrait pour le même champ, et à densité en fer égale, avec un barreau préparé à la manière ordinaire (dans le rapport de 1,2 ou 1,3 à 1, par exemple) ; les grains ont pris une orientation plus favorable ; cette différence s'atténue d'ailleurs à mesure qu'on augmente le champ à partir de celui où a été préparé le barreau, et nous verrons tout à l'heure qu'elle est tout à fait effacée à la saturation.

elle est légèrement concave vers le haut, et pour $d = 3{,}24$ la concavité est encore plus prononcée, quoique encore beaucoup moins que celle de la première moitié des courbes d'aimantation des fers compacts.

Limaille de fer ordinaire. — Etudiée tassée seule, $d = 2{,}28$. La courbe est intermédiaire entre celles relatives au fer porphyrisé aux densités 3,24 et 1,57. Voici quelques valeurs :

H	25	50	75	100	125	150
$\frac{I}{d}$	3	6,6	10,5	14,8	18,7	22,4

Fer réduit. — La courbe est d'abord une ligne droite, qui s'infléchit légèrement vers le bas dès les valeurs 80 à 100 du champ. Les valeurs de $\frac{I}{d}$ sont voisines de celles obtenues pour la limaille (voir la courbe cyclique en traits pleins de la figure 2) ; mais nous avons vu que le fer réduit contient une proportion de fer pur beaucoup plus petite que le fer en limaille ou porphyrisé, de sorte que les valeurs de l'aimantation spécifique relative au fer pur est, pour les champs faibles, plus grande que pour les autres variétés de poudre, ce qui peut provenir simplement de ce que le fer y est à un autre état [1].

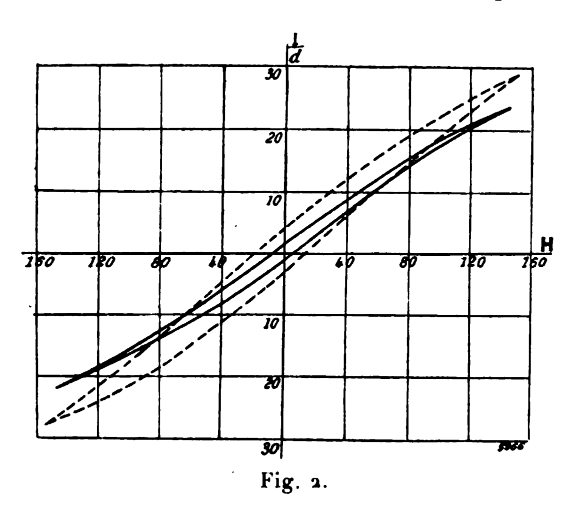


Fig. 2.

Hystérésis. — J'ai déterminé pour chaque variété plusieurs cycles ; ceux relatifs au fer porphyrisé et à la limaille ont très sensiblement la même allure, avec des valeurs du même ordre pour le champ coercitif ; ceux relatifs au fer réduit sont plus petits, et le champ coercitif plus faible ; dans la figure 2 on a reproduit deux de ces courbes, relatives au fer réduit (en trait plein) et au fer porphyrisé (en pointillé) ; les ordonnées sont les valeurs de $\frac{I}{d}$, mais on devra se rappeler pour les comparer, la remarque précédente sur la proportion en fer.

II. — Champs intenses

Méthode de mesure. — La méthode employée dérive de la méthode de l'isthme d'Ewing et Low [2] ; elle est plus simple, facile à installer avec un petit électro-aimant, mais ne permet pas d'atteindre des champs aussi élevés. Le noyau à étudier est mis sous forme de cylindre court ; il est placé entre les pièces polaires d'un électro-aimant, ses bases s'appliquant sur les extrémités planes des pièces polaires, lesquelles doivent être assez larges pour que le champ soit primitivement uniforme dans un certain espace autour de la place occupée

(1) On sait combien l'état du fer dans les fers et aciers dépend non seulement de la proportion des corps étrangers, mais aussi des variations de température et du travail mécanique subis par les échantillons. (Voir le très intéressant article de M. Charpy, *Bull. de la Soc. Int. des Électriciens*, décembre 1902). C'est à cause de l'impossibilité de connaître exactement ces états qu'il est préférable de conserver la densité en poudre *d* dans l'exposé des résultats.

(2) Ewing et Low, *Proc. Roy. Soc. London*, 24 mars 1887. — *Phil. Trans.* 1889, A. p. 221.

par le noyau. Lorsque le noyau est mis en place, le champ dans l'espace interpolaire est modifié par la différence de densité du magnétisme libre aux points où les extrémités du noyau sont en contact avec les pièces polaires ; cette densité a été diminuée de la valeur qu'a prise la densité du magnétisme libre de signe contraire sur l'extrémité du noyau en expérience ; l'altération du champ est ainsi d'autant plus faible, pour une distance donnée des pièces polaires, que la section du noyau est plus faible par rapport à la surface des pièces polaires et que le noyau est moins magnétique ; d'ailleurs, vers le milieu de l'espace interpolaire, l'altération du champ est d'autant plus faible que le noyau a une longueur plus grande par rapport à son diamètre ; or c'est justement dans cette partie centrale que se font les mesures, et ce qui précède montre qu'en observant certaines précautions qui en découlent on aura dans la région centrale un champ très sensiblement uniforme [1].

La mesure du champ et de l'intensité d'aimantation se fait par la méthode des deux bobines, employée par Ewing et Low, et, avec plus de précision, par M. Weiss [2] : si le champ est uniforme dans la partie centrale du noyau et autour du noyau, il suffit de le mesurer dans cette région avoisinante ; on entoure pour cela le noyau d'une bobine de n spires par exemple et de surface totale S_1, par-dessus laquelle est enroulée une deuxième bobine ayant également n spires et une surface totale S_2 ; à un moment où le champ uniforme est H et l'intensité d'aimantation du noyau I, le flux d'induction dans chaque bobine est, en désignant par σ la section du noyau.

$$\varphi_1 = S_1 H + n\sigma . 4\pi I$$
$$\varphi_2 = S_2 H + n\sigma . 4\pi I$$

d'où

$$\varphi_2 - \varphi_1 = (S_2 - S_1) H.$$

l'une des deux équations donnant la valeur correspondante de I [3].

Il reste à parler de la mesure des flux φ; un premier procédé est de faire sortir vivement du champ le noyau magnétique et les bobines qui l'entourent; il y a alors à tenir compte de l'aimantation résiduelle, qu'on peut déterminer à part ; on peut encore retourner tout le système bout pour bout entre les pièces polaires, ce qui exige un dispositif spécial; ces deux procédés ont été employés par Ewing et Low qui, désirant réaliser des champs extrêmement intenses, se servaient d'un gros électro-aimant. Mais quand on emploie un petit électro-aimant de self-induction relativement faible et un galvanomètre balistique à longue durée d'oscillation, il suffit d'inverser le champ magnétique en inversant le sens du courant magnétisant; le dispositif est alors beaucoup plus simple, puisque tout le système est fixe.

---

[1] Je crois qu'on peut réaliser ainsi dans la région utile, c'est-à-dire dans la partie centrale du noyau et dans la région qui l'entoure, un champ plus uniforme qu'avec le dispositif employé par Ewing et Low ; l'intensité d'aimantation qu'on mesure correspond à un champ mieux défini, et mesurable, par le procédé des deux bobines, avec plus de précision.

[2] P. Weiss. *Éclairage Électrique*, t. VII, p. 487, 1896. — *Journ. de Phys.* (3), t. V, p. 435 ; 1896. — Thèse, n° 890, Paris, 1896.

[3] En opérant comme je le faisais ici, il n'est pas nécessaire de donner aux deux bobines le même nombre de spires ; cela facilite seulement le calcul. M. Weiss mesurait le champ en mettant les deux bobines en opposition dans le circuit induit, de manière que I n'intervienne pas dans la mesure, ce qui est préférable quand I est grand ; il pouvait donner pour cette mesure une sensibilité plus grande au galvanomètre balistique, et opérer par suite avec une surface $S_2 - S_1$ très petite, c'est-à-dire avec deux bobines très rapprochées du noyau magnétique. Avec la disposition que j'ai employée, les mesures se font avec une seule sensibilité du galvanomètre ; la surface $S_2 - S_1$ doit être alors plus grande ; j'ai vérifié l'uniformité du champ en ajoutant une troisième bobine fournissant une nouvelle valeur de H donnée par $\varphi_3 - \varphi_2 = (S_3 - S_2)$ H, c'est-à-dire correspondant à un espace un peu plus éloigné du noyau que la valeur déduite de $\varphi_2 - \varphi_1$.

Détail des expériences. — Dans les expériences actuelles se présentait cette circonstance que l'intensité d'aimantation des noyaux à étudier est faible, circonstance favorable à l'uniformité du champ, mais défavorable à la précision du calcul de l'intensité d'aimantation I : les causes d'erreur de la mesure prennent en effet une importance relative d'autant plus grande que I est plus faible ; de plus, on doit opérer avec de petits cylindres de poudre agglutiné avec de la paraffine par exemple, qu'il est difficile d'obtenir bien homogènes, et dont la densité en fer est difficile à déterminer avec précision ; aussi chaque détermination n'est-elle pas très précise, et j'ai dû faire plusieurs séries d'expériences sur chaque genre de noyaux magnétiques étudiés, et prendre les valeurs moyennes des nombres obtenus.

Les cylindres étudiés avaient de 2 à 4 mm de diamètre et de 10 à 20 mm de longueur; on les plaçait entre les pièces polaires planes (de 5 cm de diamètre) d'un petit électro-aimant Weiss ; les bobines, faites sur une carcasse en os, étaient de 100 spires chacune, et avaient 5 mm de longueur et respectivement 5,4 mm, 6,9 mm et 8,6 mm de diamètre extérieur.

Le galvanomètre était un balistique Carpentier à cadre mobile, d'une durée d'oscillation simple de 8 secondes ; son circuit comprenait une résistance additionnelle de 4 000 ohms, de sorte que la différence de résistance des trois bobines n'avait aucune importance ; le galvanomètre était étalonné au moyen d'une bobine de 924 spires entourant en son centre une longue bobine de dimensions bien connues et donnant un flux facile à calculer. Dans quelques expériences j'ai employé comme balistique un galvanomètre Wiedemann plus sensible ; aux deux petites bobines étaient alors jointes des résistances telles que la résistance fût la même pour les trois.

J'ai déterminé les surfaces des trois bobines en comparant les déviations obtenues au galvanomètre balistique pour ces bobines et pour une bobine à une seule couche de surface bien connue, placées entre les pièces polaires planes de l'électro-aimant, quand on inverse le champ.

Il y avait à justifier le mode d'emploi du galvanomètre balistique ; pour cela, j'ai mesuré les flux traversant une petite bobine placée entre les pièces polaires de l'électro-aimant, soit en enlevant la petite bobine du champ, soit en renversant le courant magnétisant, et constaté que le rapport des déviations obtenues au galvanomètre balistique est bien égal à 2 (en réalité, à 4, parce que dans ces essais, comme dans toutes les expériences d'ailleurs, j'ai opéré par double renversement du champ).

Enfin pour chaque cylindre étudié j'ai déterminé ainsi la densité en poudre magnétique : on dissout la paraffine dans l'éther, en râpant le cylindre avec un canif pour que la dissolution puisse s'opérer en quelques heures ; la poudre qui reste est pesée ; sa masse divisée par le volume du cylindre donne la densité en poudre ; quand celle-ci est un mélange de poudre de fer et de poudre de zinc, on en déduit par proportionnalité la densité en poudre de fer.

Résultats. — Une même poudre de fer (fer porphyrisé) étant ainsi étudiée à différentes densités dans des champs magnétiques de 1 000 à 10 000 gauss environ, on trouve que les valeurs de $S = \frac{I}{d}$ correspondant à un même champ sont d'abord d'autant plus faibles que d est plus faible (c'est la continuation des résultats obtenus avec les champs faibles) ; mais à mesure qu'on approche de la saturation magnétique les valeurs de $\frac{I}{d}$ se rapprochent, et elles tendent à peu près vers la même limite. Voici par exemple les nombres obtenus avec



le fer porphyrisé aux deux densités extrêmes réalisées ici, $d = 2{,}36$, et $d = 0{,}56$:

H	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000	7 000	8 000	9 000 gauss
$\frac{I}{d}$ pour $d = 2{,}36$	111	145	166	180	189	195	198	201	202
$\frac{I}{d}$ pour $d = 0{,}56$	»	111	137	156	170	182	190	195	198

Pour le fer en limaille, étudié à la densité 1,82, on trouve une limite supérieure du même ordre de grandeur :

H	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000	7 000	8 000	9 000 gauss
$\frac{I}{d}$	95	130	155	170	182	190	196	200	203

Pour le fer réduit, qui, comme nous l'avons vu, est moins riche en fer, la valeur limite est moins élevée (la densité en poudre était 1,58) :

H	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000	7 000	8 000	9 000
$\frac{I}{d}$	54	78	96	108	116	124	129,5	132	133

De plus, si on rapporte les valeurs limites obtenues ici à la quantité de fer pur contenu dans les poudres, on obtient des nombres qui sont tout à fait du même ordre de grandeur que la valeur limite correspondant au fer pur ; en effet, si on prend comme valeur limite I_m de I pour le fer pur 1 800 et pour densité 7,7 on a $\frac{I_m}{d} = 235$; or, en prenant dans les tableaux précédents les valeurs les plus élevées de $\frac{I}{d}$, qui sont encore sans doute un peu inférieures à la valeur limite, et en les rapportant aux quantités de fer pur indiquées plus haut, on obtient :

Pour le fer porphyrisé. . . . . $\frac{202}{0{,}916} = 220{,}5$

» en limaille. . . . . $\frac{203}{0{,}844} = 240{,}5$

» réduit. . . . . $\frac{133}{0{,}615} = 216{,}3$

Ce qui paraît à retenir de ces nombres, étant donnée la faible précision des expériences, c'est leur concordance, qui existe malgré les grandes différences des densités en fer; d'ailleurs, il faut remarquer qu'une partie du fer contenu dans ces poudres peut y être à des états différents.

Conclusion. — Il semble qu'on puisse conclure des résultats obtenus avec une même poudre à différentes concentrations que *l'aimantation spécifique d'un fer donné atteint toujours à peu près, dans des conditions données de température, la même valeur limite, quelle que soit la densité de ce fer dans la substance étudiée ;* mais, quand ce fer est mélangé à une matière non magnétique, l'aimantation spécifique s'approche de cette valeur limite d'autant plus lentement que la densité en fer est plus faible.

Ce résultat s'interprète aisément : chaque grain environné d'un petit espace non magnétique se crée un champ démagnétisant d'autant plus notable que cet espace est plus grand ; il faut par suite un champ extérieur d'autant plus intense pour surmonter ces champs démagnétisants et produire l'orientation la plus favorable de tous les aimants moléculaires ; mais quand ce dernier résultat est atteint on conçoit que l'intensité d'aimantation soit proportionnelle à la densité en fer.



D'après cela l'aimantation spécifique limite $S_m = \frac{I_m}{d}$ serait, pour des conditions données de température, une constante caractéristique d'une matière ferromagnétique donnée ; si une matière est la seule ferromagnétique dans une certaine substance, de la mesure de I_m on pourra déduire la valeur de d, S_m étant connu par des expériences préalables. S'il y a plusieurs matières magnétiques correspondant à des valeurs S_m, S'_m, etc., avec des densités d, d', etc., chacune prenant à la saturation l'aimantation qui la caractérise, l'aimantation limite totale sera

$$I_m = S_m . d + S'_m . d' + --,$$

et, en la déterminant, on aura une relation entre les proportions des matières magnétiques composantes.

En d'autres termes, l'intensité d'aimantation, qui n'est pas une propriété additive pour une valeur donnée du champ [1], semble le devenir à la saturation, au moins dans une première approximation.

Ce procédé d'étude serait applicable par exemple aux aciers, où entrent différents constituants, dont quelques-uns bien définis, si les quantités S_m relatives à ces constituants sont suffisamment différentes ; mais il faudrait d'abord instituer une méthode rapide et précise de mesure de l'aimantation à saturation.

Ch. MAURAIN.

RÉSEAU ET INSTALLATIONS DE TRAMWAYS DE GLASGOW [2]

(ÉCOSSE)

RÉSEAU DE DISTRIBUTION. — L'étude de ce réseau comprend : 1° l'étude de la distribution du courant triphasé fourni par l'usine génératrice.

2° La distribution aux voitures du courant continu à 500 volts produit par les sous-stations et par les machines auxiliaires à courant continu de l'usine génératrice.

Nous n'insisterons ni sur le premier réseau, dont la figure 17 représente nettement la disposition générale, ni sur le second, dont il suffit d'exposer le principe.

Des feeders rayonnent des sous-stations dans de nombreuses directions et alimentent des sections distinctes de la voie, qu'il est possible de relier par des postes appelés postes de sectionnement ou d'interconnexion.

Une sous-station, par exemple, comporte 9 feeders rayonnants, capables d'alimenter chacun de 12 à 30 voitures ; leur longueur est très variable, et généralement comprise entre 600 et 2 000 mètres.

[1] Il est utile d'insister sur ce fait; soient deux substances qui à l'état compact auraient, pour une certaine valeur du champ, des intensités d'aimantation I_1 et I_2 ; l'intensité d'aimantation d'un mélange où elles entrent en proportions a_1 et a_2 (en volume, pour simplifier) n'est pas, en général, pour le même champ, $a_1 I_1 + a_2 I_2$; pour qu'il en fût ainsi, il faudrait que chaque parcelle de l'une et l'autre substances eut acquis dans le mélange la même intensité d'aimantation que celle qu'elle avait à l'état compact, ce qui n'est vrai approximativement que si les propriétés magnétiques des deux substances sont presque identiques, c'est-à-dire si I_1 et I_2 sont presque les mêmes : dès que I_1 et I_2 sont un peu différents, le fait que les particules de chaque corps sont entourées par un autre milieu modifie les actions magnétiques intérieures ; en particulier les résultats de mes expériences montrent que si l'un des corps n'est pas ferromagnétique, l'intensité d'aimantation spécifique de l'autre dépend dans une très large mesure de sa proportion dans le mélange.

[2] Voir *L'Éclairage Électrique* des 14 et 21 mars, p. 385 et 445.

Depuis que l'article ci-dessus a été envoyé à l'imprimerie, nous avons eu connaissance des résultats d'essais des



Les postes d'interconnexion qui en dépendent, pour la sous-station que nous avons prise pour exemple, sont au nombre de 43, différemment disposés suivant les besoins de la section qu'ils alimentent.

Ils distribuent le courant aux sections de trôlet qui en dépendent : le trôlet aérien sert à l'amenée du courant, la voie de roulement est utilisée pour le retour ; quand les fils de trôlet sont insuffisants pour le courant à transporter, on leur adjoint des distributeurs qui permettent de maintenir la chute de tension, sur le conducteur positif, dans des limites raisonnables.

---

groupes d'excitation de l'usine génératrice, commandés, ainsi que nous l'avons dit, par moteurs-pilon, système Stewart.

Les résultats en sont résumés dans le tableau ci-dessous.

	Machine nº 1	Machine nº 2
Date de l'essai	17 mars 1902	12 avril 1902
Durée de l'essai	3 heures 1/2	3 heures
Consommation moyenne de vapeur en kilogrammes par heure.	4 800	5 077
Puissance moyenne indiquée en chevaux	744	756
Puissance moyenne électrique	657	669
Puissance mécanique utile (évaluée d'après le rendement de la dynamo, supposé égal à 94,6 p. 100)	645	707
Poids de vapeur par cheval-heure indiqué	6,45	6,72
Poids de vapeur par cheval-heure électrique	7,30	7,60
Poids de vapeur par cheval-heure utile	6,90	7,10
Rendement combiné de la machine et de la dynamo	88,3	88,5
Rendement mécanique, en prenant le rendement de la dynamo égal à 94,6 p. 100	93,4	93,7

Le trafic du réseau a fait de tels progrès, que, en raison de son excellente exploitation, il nous paraît intéressant de les indiquer, à l'aide de chiffres empruntés aux statistiques d'exploitation qui viennent d'être publiées.

L'exploitation a donné, pour l'exercice prenant fin au 31 mai 1902, les résultats suivants :

Recettes brutes	15 360 325 fr
Dépenses d'exploitation	10 126 050 fr
Coefficient d'exploitation	65 p. 100
Bénéfice brut	5 234 275 fr
Les charges diverses de l'entreprise s'élèvent à	2 720 125 fr
La partie de ces charges prélevée pour les impôts et redevances s'élève à	312 500 fr

soit environ 2 p. 100 des recettes brutes.

Déduction faite des charges, il reste donc un bénéfice net de	2 514 150 fr

L'année précédente, le bénéfice brut avait été de 2 190 750 fr, et le bénéfice net de 290 550 fr.

Il n'est pas inutile de donner ici quelques indications sur les tarifs : ils sont fractionnés jusqu'au minimum de 0,05 fr, chaque somme de 0,05 fr donnant droit au parcours d'une section d'environ 8 à 900 m ; un ticket de 0,10 fr permet de parcourir 4 sections et un ticket de 0,35 fr permet de parcourir au delà de 14 sections.

On voit donc en définitive que les parcours réduits peuvent s'effectuer au taux de 0,10 fr environ par mille et les plus longues distances à un taux moitié moindre.

Les recettes du dernier exercice s'élèvent à 0,70 fr par voiture-kilomètre et les dépenses à 0,45 fr.

Rectifions une erreur qui s'est glissée dans le calcul des consommations de vapeur des machines Allis et Musgrave. Les lignes 3, 7, 8 et 9 des tableaux de la page 396 doivent être remplacées par les suivantes :

Essais des machines Allis nº 1 et 2

	Machine nº 1 Pleine charge	Machine nº 2 Pleine charge	Machine nº 3 Demi-charge
Consommation moyenne de vapeur en kilogrammes par heure.	20 700	20 500	13 000
Poids de la vapeur par cheval-heure indiqué	5,54	5,63	6,50
Poids de la vapeur par cheval-heure électrique	6,00	6,18	7,18
Poids de la vapeur par cheval-heure utile	5,77	5,90	»

Essais des machines Musgrave nº 3 et 4

	Machine nº 3	Machine nº 4
Consommation moyenne de vapeur en kilogrammes par heure.	21 800	22 900
Poids de vapeur par cheval-heure indiqué	6,09	6,00
Poids de vapeur par cheval-heure utile	6,31	6,18
Poids de vapeur par cheval-heure électrique	6,54	6,45

***

Nous terminerons cet exposé en examinant aussi rapidement que possible tout le matériel que comporte la distribution dont nous venons d'indiquer le principe, et nous terminerons par l'examen rapide du matériel roulant.

Feeders à courant alternatif et à courant continu. — Les *câbles triphasés à* 6 500 *volts* sont composés de torons de 3 fils, toronnés avec un pas de 92 cm ; épaisseur d'isolant : 0,30 cm ; épaisseur de la gaîne de plomb : 0,45 cm.

Les essais d'isolement ont été faits sous 20 000 volts après immersion de 24 heures dans l'eau. Après mise en place et jonction des câbles on les a encore essayés à 15000 volts ; on a aussi imposé aux fournisseurs un essai à 15 000 volts d'un échantillon du câble enroulé autour d'un tambour ayant un diamètre égal à 5 fois celui du câble.

Les *câbles à courant continu* sont des câbles simples, isolés par 0,30 cm de la même matière isolante et recouverts de 0,45 cm de plomb. Ces câbles sont soumis après la pose à 2 000 volts alternatifs pendant cinq minutes.

Les *câbles aériens alimentant* le trôlet satisfont aux mêmes conditions, mais ils sont isolés au caoutchouc et sont armés de fils d'acier.

Des *fils pilotes* au nombre de 4, 6 ou 8 isolés entre eux avec 0,30 cm d'isolant et recouverts de plomb servent à repérer la chute de potentiel en quelques points du rail et aboutissent à un panneau de contrôle,

On leur a imposé des essais de 1 000 volts de fil à fil et de fil à plomb.

Lignes aériennes de trôlet. — Les lignes sont établies sur des fils transversaux, fixés, le plus souvent, aux murs des maisons, au moyen de rosettes ; en quelques endroits on a dû substituer à ce mode de suspension, la suspension par poteaux latéraux.

Les rosettes, attachées aux maisons, sont en fonte, et munies de rondelles de caoutchouc, destinées à amortir les vibrations. Le fil de trôlet a 67,5 mm^2 de section.

Les isolateurs de trôlet comportent des boulons d'acier de 16 mm, convenablement isolés et construits de manière que le fil ne puisse pas tomber sur la voie si l'isolement cède.

Les griffes des fils de trôlet ont une longueur de 460 mm.

Des isolateurs de sections sont prévus tous les 800 m.

Les fils de garde ont 4,4 mm^2 de section. Ce sont des fils d'acier galvanisés, suspendus à 60 cm environ au-dessus des fils de trôlets et de chaque côté de ceux-ci à une distance de 200 mm. Ils sont divisés en sections correspondant aux sections des fils de trôlets, chacune d'elles est séparément mise à la terre.

Les fils transversaux sont constitués en câbles à 7 brins d'acier galvanisé, ceux qui supportent le conducteur de trôlet ont un diamètre de 2,6 mm et ceux qui supportent les fils de garde 2 mm.

Le fil de trôlet est alimenté par des câbles isolés au caoutchouc et armés (61 conducteurs de 1,2 mm^2).

Les *interrupteurs de sectionnement* sont montés sur un panneau de marbre poli des deux côtés et placé dans une cabine s'ouvrant sur les deux faces du panneau : l'isolement des interrupteurs et des barres omnibus sur le marbre est fait au moyen de canons et de supports d'ébonite.

Il y a 3 types de cabines d'interconnexion :

Le numéro 1 contient 4 interrupteurs à rupture rapide, pour 400 ampères sous 500 volts, 8 pour 200 ampères sous 500 volts, les barres omnibus et les connexions des câbles.

Le numéro 2 contient seulement 3 interrupteurs de 400 ampères.

Le numéro 3 contient seulement 2 interrupteurs de 400 ampères, avec barres omnibus et connexions comme le numéro 1.



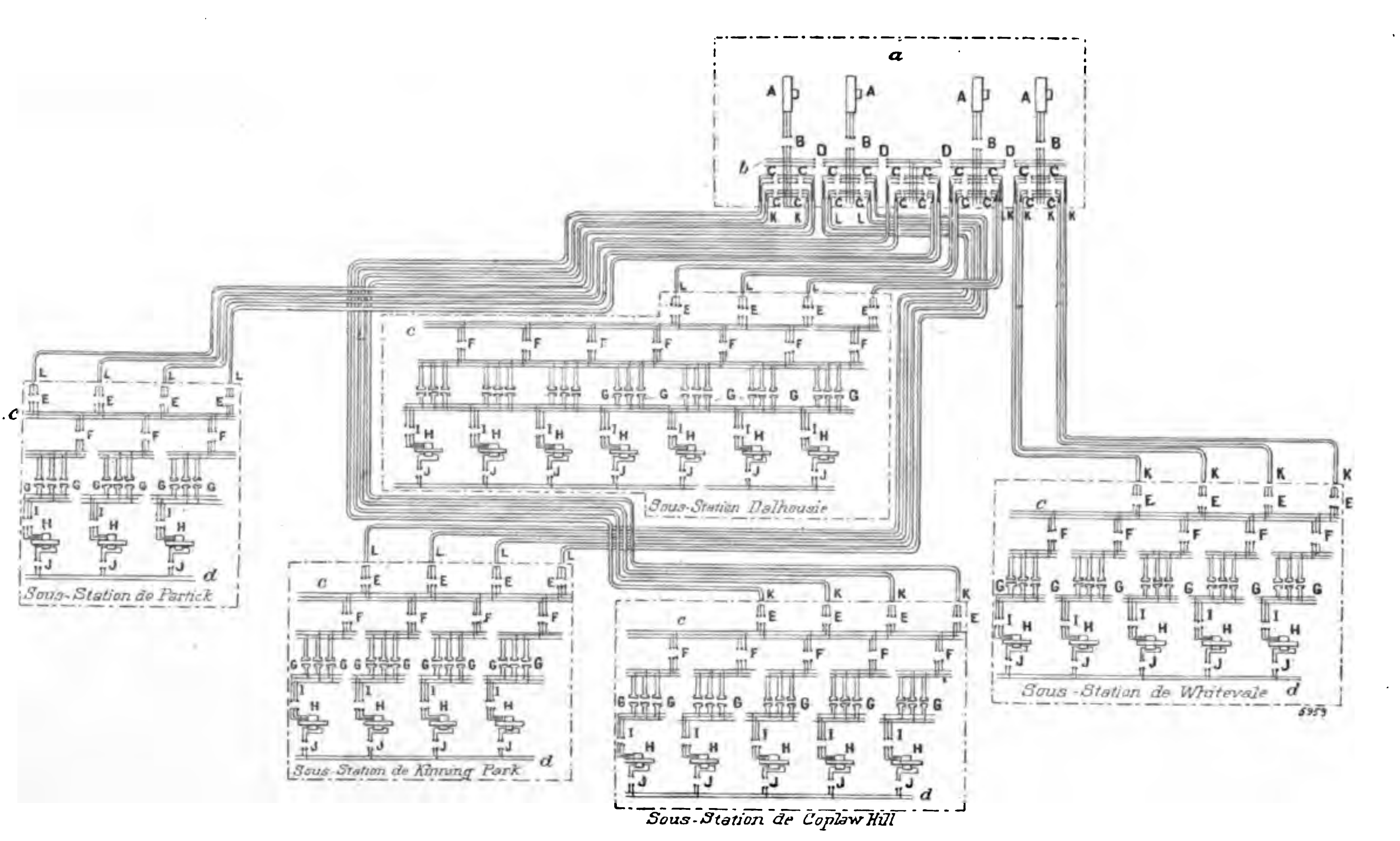


Fig. 17. — Schéma du réseau de distribution de l'usine génératrice et des sous-stations.

a, Usine génératrice de Pinkston. — *b*, Barres omnibus triphasées à 6500 volts. — *c*, Barres omnibus à courant triphasé des sous-stations. — *d*, Barres omnibus à courant continu des sous-stations, — A, Alternateur de l'usine génératrice. — B, Interrupteur permettant de relier les alternateurs au tableau. — D, Interrupteur de sectionnement des barres omnibus ou d'interconnexion des alternateurs (permettant la marche individuelle ou en parallèle). — C, Interrupteur répartissant les différents feeders des sous-stations sur les différentes machines. — KL, Feeders des sous-stations. — E, Interrupteur d'arrivée du courant à 5000 volts dans les sous-stations. — *c*, Barres omnibus de celles-ci. — F, Interrupteur pour la mise en service des différents groupes transformateurs. — G, Transformateur statique de ces groupes. — I, Interrupteur secondaire. — H, Commutatrices. — J, Interrupteur reliant les commutatrices au tableau de distribution à courant continu.

Construction de la voie. — Les rails sont à gorge d'une largeur de 32 mm et de profondeur égale, du poids de 45 kg environ le mètre, et employés par longueurs de 20 m; leur hauteur est de 18 cm et la largeur du patin est la même : ils reposent sur une épaisseur de 15 cm de béton.

Les éclisses, longues de 79 cm, pèsent environ 31 kg la paire et sont fixées par 8 boulons de 25 mm.

En courbes on emploie un rail à bords renforcés et pesant environ 48 kg.

Le gabarit est de 1,40 m. La jonction électrique des rails est assurée par 4 « Crownbonds » pour chaque joint : 2 d'entre eux sont rigides en fil de cuivre de section 107 mm et réunissent les âmes des rails au delà des éclisses; les deux autres sont en conducteurs flexibles de même section et fixés au patin du rail.

Les aiguilles ont des longueurs variant entre 3,65 m et 4,25 m, et des rayons de courbure variant de 30 à 100 m, pour rendre très facile l'entrée des courbes.

Les croisements sont assurés par 4 sections de rail assujetties dans une seule pièce de fonderie.

Une des particularités les plus intéressantes est l'emploi de pièces d'acier renouvelables, insérées aux intersections de toutes les aiguilles et croisements. Ces plaques sont assez dures pour durer d'ordinaire aussi longtemps que les rails avoisinants, malgré le service sévère auquel elles sont soumises. Elles sont assujetties par des clavettes et par une coulée de fonte faite autour d'elles.

Nous donnons quelques figures qui permettent de se faire une idée très nette de la construction de la voie, sur laquelle il est inutile d'insister plus longtemps (fig. 18 et 19).

Matériel roulant. — Les voitures sont de deux types :

1° Les voitures à impériales portées par trucks Brill 21-E;

Caisses construites à Glasgow;

Trucks fournis par la maison Brill.

2° Les voitures à boggies, dont les caisses et trucks ont été établis à Glasgow.

1° La caisse de la *voiture à impériale* comporte la caisse proprement dite, de 5,20 m, et les plateformes donnant accès aux escaliers, d'une longueur de 1,60 m chacune; ce qui porte la longueur entre tabliers de la voiture à 8,40 m; la hauteur mesurée entre plancher de la voiture et plancher d'impériale est de 2 m. Le trôlet est porté par une base surélevée de 1 m environ; et l'impériale elle-même ajoute à peu près une égale hauteur à la caisse de la voiture, dont la hauteur totale est ainsi portée, à l'exclusion du trôlet, à 3 m environ.

Ajoutons que la hauteur du plancher de la voiture au-dessus du rail est de 0,65 m, ce qui donne pour gabarit total de la voiture, trôlet abaissé, 3,65 m.

La construction de cette voiture présente d'ailleurs beaucoup d'analogie avec celle des voitures à impériale ordinaires.

Quant au truck, on sait qu'il est en fer forgé, à longerons Brill d'une seule pièce, et qu'il comporte dans sa construction le minimum d'assemblages ou de rivets, et par suite le maximum de simplicité : les deux longerons étant simplement reliés par une croix de Saint-André placée dans l'axe de la voiture, et deux fers plats d'environ 110 mm $\times$ 25 aux extrémités.

La caisse est portée par de longs ressorts elliptiques placés aux extrémités des longerons, et par des ressorts hélicoïdaux, au voisinage des boîtes à graisse.

Nous n'insisterons pas davantage sur les caractères de construction de ce truck, qui est souvent employé sur les lignes françaises.



2° Quant à la voiture sans impériale, établie par la corporation des tramways de Glasgow, elle est de dimensions beaucoup plus considérables, à plateforme et entrée centrale surbaissées, etc., elle mériterait une plus longue étude que celle que nous pouvons lui consacrer ici.

Le matériel roulant est muni du moteur Westinghouse 49 B, du contrôleur Westinghouse n° 90 et des disjoncteurs automatiques de même provenance.

Le moteur 49 B a été étudié spécialement pour les tramways urbains, c'est-à-dire pour une vitesse comparativement peu élevée, des arrêts et des démarrages rapides, des surcharges fréquentes ; la carcasse inductrice en acier coulé enveloppe entièrement le moteur, et se divise en deux parties articulées permettant de découvrir l'induit par le dessus et par le dessous. Il comporte 4 pôles en tôle d'acier doux assemblées par fusion dans la carcasse.

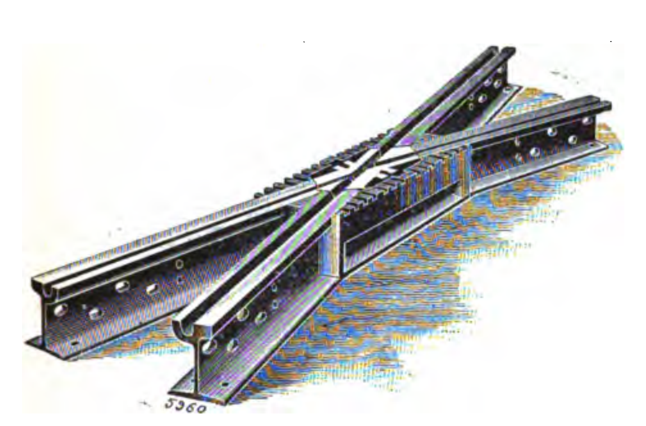


Fig. 18. — Pièce de croisement renouvelable.



Fig. 19. — Pièce d'aiguillage renouvelable.

Les bobines sont enroulées à la forme ; il en est de même des bobines d'induit dont l'enroulement est série, et comporte seulement deux jeux de balais, comme dans la plupart des cas de la pratique moderne ; la commande est faite par simple réduction d'engrenages.

Les réparations et l'entretien de tout le matériel, et même une grande partie de sa construction sont assurés par des ateliers admirablement équipés, dont la description dépasserait trop les limites de notre article.

Constatations en service. — L'économie de production de l'usine s'élèvera encore quand le service comportera plusieurs unités en marche, mais on a déjà constaté que les machines Allis produisent au tableau de distribution une unité B. O. T. soit 1 kilowatt-heure, pour moins de 1 360 grammes de charbon.

En tenant compte de toutes les pertes dues à la transmission et à la transformation de courant, la voiture-kilomètre consomme moins d'un kilowatt-heure au tableau de distribution.

On sait que la marche en parallèle des alternateurs de Pinkston a donné lieu d'abord à certaines difficultés, et que, pour le faciliter, on avait prévu des dash-pot, système Emmet, analogues à ceux des usines de Boston et de Philadelphie, mais on a reconnu ensuite qu'il suffisait de réduire la compression des machines pour assurer leur bon fonctionnement en parallèle.

Le mode de graissage Blackwell, dont il a été parlé plus haut, permet une notable économie de main-d'œuvre et de consommation d'huile.



De même que le graissage automatique a donné d'heureux résultats dans l'usine, les chargeurs automatiques et la disposition absolument moderne de tous les accessoires de chaufferie donnent entière satisfaction : il suffit, grâce aux chargeurs automatiques, de deux ou trois hommes pour la marche des chaudières, qui sans cela en exigerait plus du double.

La consommation de charbon n'est pas pour cela plus élevée. Elle est relevée, par des pesées continues, au moyen de machines spéciales, également satisfaisantes.

En comprenant les heures de faible charge, et en tenant compte de toutes les machines, même auxiliaires, la consommation moyenne de charbon ne dépasse pas 1,57 kg. par kilowatt-heure.

Les dispositifs spéciaux de synchronisation, système Field, ont fait l'objet de communications de leur auteur au Congrès de Glasgow, communications qui ont été analysées en leur temps.

Le service des câbles s'est maintenu satisfaisant.

L'isolement est bon, et le contrôle en est fait chaque jour à l'aide d'une batterie de piles Leclanché de 1 200 volts, et d'un voltmètre.

On contrôle également avec un soin très grand la chute de tension dans le circuit de retour formé par les rails de la voie : elle est, grâce aux survolteurs de retour que nous avons décrits, maintenue dans des limites très réduites, 1/2 volt à 1 volt ou 1 volt 1/2.

Nous avons résumé dans la note de la page 473 quelques données que nous avons pu recueillir sur les résultats d'exploitation du dernier exercice.

P. Letheule.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

PILES THERMO-ÉLECTRIQUES

***Observations sur les courants thermoélectriques et communications sur un nouvel élément thermoélectrique*, par Albrecht Heil.** *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. IX, p. 91, 29 janvier 1903.

L'auteur a constaté à l'aide de mesures précises et des substances chimiquement pures que des erreurs existent dans la série thermoélectrique donnée ordinairement, ainsi que dans les températures de fusion de certains corps. Les valeurs trouvées ici sont résumées dans le tableau suivant :

Couples Cu 60 Ni 40 et les corps suivants :

A. Différence de température 230° C.		*B.* Température du rouge sombre ou température de fusion	
Bismuth	— 0,005 volt	Bismuth, à 270° C	+ 0,002 volt
Sodium	— 0,004	— 180° C.	— 0,0023
Cobalt	+ 0,002	Sodium, surface pure	+ 0,004
Nickel	+ 0,0035	— — oxydée	— 0,0035
Tellure-bismuth	+ 0,005	Plomb, à 330° C.	+ 0,0090
Plomb	+ 0,0070	Etain, à 228° C.	+ 0,0093
Etain	+ 0,0077	Thallium, à 290° C.	+ 0,0100
Thallium	+ 0,0080	Cadmium, à 310° C	+ 0,013
Magnalium	+ 0,0085	Zinc, à 430° C.	+ 0,016
Zinc	+ 0,0090	Cobalt, au rouge sombre	+ 0,018
Sb 2 Tl 1	+ 0,0092	Tellure-bismuth, à 200° C	+ 0,019
Aluminium	+ 0,0095	Nickel, au rouge sombre	+ 0,021
Magnésium	+ 0,0097	Aluminium, au rouge sombre	+ 0,024
Charbon graphité	+ 0,0098	Sb 2 Tl 1, à 300° C. environ	+ 0,024



Couples Cu 60 Ni 40 et les corps suivants :

A. Différence de température 230° C.		*B*. Température du rouge sombre ou température de fusion.	
Platine	+ 0,0098	Magnalium, à 500° C	+ 0,028
Argent	+ 0,0110	Magnésium à 500° C. environ	+ 0,034
Laiton	+ 0,0112	Charbon graphité, à 500° C. environ	+ 0,036
Or	+ 0,0113	Platine, à 500° C. environ	+ 0,037
Cuivre	+ 0,0114	Laiton —	+ 0,039
Cadmium	+ 0,0117	Argent —	+ 0,0395
Fer	+ 0,0128	Or —	+ 0,0396
Sb 3 Ni 1	+ 0,0140	Fer —	+ 0,0397
Cérium	+ 0,0168	Cérium, à 470° C.	+ 0,0398
Zirconium	+ 0,0169	Cuivre, à 500° C. environ	+ 0,040
Antimoine	+ 0,0170	Zirconium —	+ 0,042
Sb 122 Zn 65	+ 0,045	Antimoine —	+ 0,052
Tellure	+ 0,049	Tellure —	+ 0,113
		Pb 122 Zn 65 —	+ 0,130

Ce tableau montre que le couple le plus avantageux est le couple constantan-antimoine zinc.

L'influence de la teneur de l'alliage antimoine-zinc est donnée par le tableau suivant qui se rapporte aux différents couples Cu 60 Ni 40 — antimoine-zinc à la température de 480° C. environ.

Pb 100 Zn 20	—	Cu 60 Ni 40	E = 0,065 volt
» 30		»	0,078
» 40		»	0,090
» 50		»	0,107
» 52,5		»	0,115
» 55,0		»	0,125
» 57,0		»	0,130
» 60,0		»	0,123
» 65,0		»	0,110
» 70		»	0,098
» 80		»	0,080
» 90		»	0,068
» 100		»	0,047

Dans ces couples, l'extrémité froide du constantan forme le pôle négatif et l'alliage antimoine-zinc, le pôle positif.

La solidité mécanique de l'alliage le plus favorable : Sb 100 Zn 57 est très petite ; elle atteint à peine celle du sucre en pain. Avec l'alliage Sb 50 Zn 41, on constate pendant le fonctionnement la formation rapide de végétations en forme de cheveux, semblables à celles constatées par Wiedemann sur le sous-sulfure de cuivre.

L'auteur a breveté un procédé qui permet d'augmenter considérablement la solidité des alliages, zinc-antimoine et de les rendre moins cassants. Il ajoute pour cela du fer et du cobalt en petites quantités. C'est ainsi qu'en additionnant de 3 p. 100 de fer l'alliage Sb 100 Zn 57, on triple sa résistance à la rupture. La force électromotrice est à peine diminuée. La puissance utile est d'ailleurs augmentée par suite de la résistance intérieure un peu plus faible.

Le point de contact des deux corps actifs ne peut être soumis directement à la flamme ; aussi le chauffage est-il indirect et doit-il se faire par conductibilité. Comme les alliages qui donnent le meilleur effet utile sont aussi ceux qui ont la plus mauvaise conductibilité calorifique (0,4 à 3,9 au lieu de 85 à 100 pour le cuivre et l'argent), il y a de ce côté de grandes pertes de chaleur.

Afin de réduire celle-ci au minimum, l'auteur brase à une extrémité du constantan un métal peu oxydable et meilleur conducteur de la chaleur, tel que l'argent ou le cuivre recouvert d'argent. Une partie de cette pièce est introduite dans l'alliage zinc-antimoine et fondue superficiellement avec celui-ci. La face qui reçoit la chaleur est de telles dimensions qu'elle est placée directement dans la flamme.

De cette façon, on accélère ainsi l'échauffement qui se fait en 2 à 3 minutes au lieu de 10 à 30 minutes dans le cas ordinaire.

Au point de vue de la conductibilité calorifique, une baguette de 5 mm de diamètre en Cu 60 Ni 40 ou une autre de 15,8 mm de diamètre en alliage Sb 40 Zn 21,6 Fe 1,2 ne conduisent pas mieux qu'un fil de cuivre de 1 mm de diamètre. La conductibilité électrique du premier alliage n'est que 3,9 et celle du second 0,4 en prenant comme conductibilité de l'argent la valeur 100 et 90 pour le cuivre.

Le refroidissement de l'élément est obtenu à l'aide de fortes lames de cuivre à grande surface. Il importe peu que ces lames soient polies ou

noircies, le refroidissement ayant lieu surtout par circulation d'air entre elles.

Les dimensions des pièces ont une grande importance. Ainsi au point de vue électrique une pièce métallique de 10 cm de longueur et de 1 cm² de section aura même résistance qu'une autre de 20 cm de longueur et de 2 mm² de section.

Cependant, dans ce dernier cas, la masse est 4 fois plus grande et la surface 1,5 fois plus grande, de sorte que la quantité de chaleur consommée est plus grande pour la même température.

La liaison des parties chauffantes de l'élément nécessite un grand soin : il ne convient pas d'employer la soudure qui fond trop facilement; le plus généralement, la liaison se fait mécaniquement (piles de Noë, Marcus, Gülcher, etc.). Cependant, dans ces cas, l'oxydation survient rapidement et augmente la résistance intérieure.

Dans le procédé de l'auteur, on évite cet inconvénient, l'alliage d'antimoine ayant une grande tendance à s'allier; à l'état fluide, avec l'argent de la bande de cuivre argenté.

Avec une pile construite d'après les indications précédentes, on produit par m³ de gaz d'éclairage à 4 900 calories, une énergie totale maxima de 140 watts-heure, supérieure à tout ce qui a été obtenu jusqu'ici. D'après Hank, en effet, les piles thermoélectriques Chaudron et Raub ne donnent que 25 watts-heure dans les mêmes conditions. La pile Gülcher n° 3 à 66 éléments donne 3 ampères sous 2 volts pour une consommation de 170 litres de gaz par heure. La pile Julius Pintsch donne 2,03 ampères sous 2,04 volts pour 198 litres de gaz par heure.

La pile de l'auteur donne comme énergie utilisable 70 watts-heure par 1 000 litres de gaz, ce qui correspond à 70,3 calories (kg : degré) par watt-heure. Théoriquement, 1 watt-heure correspondant à 0,864 calorie, le rendement est donc ici $\frac{0,864}{70,2} = 0,0123$ rapporté à l'énergie utilisable, ou 0,0246 en rapportant à l'énergie totale.

L'élément Gülcher dont l'énergie maxima utilisable n'est que de 25 watts-heures par 1 000 litres de gaz n'a qu'un rendement de 0,00432 (énergie utilisable) ou de 0,00864 (énergie totale).

Il est intéressant de comparer la pile étudiée ici avec une machine à vapeur de 1 cheval actionnant une dynamo. Une telle machine consomme environ 5 kg de charbon par heure, soit 57 000 = 35 000 calories. La dynamo produit environ 420 watts, de sorte que 1 watt-heure correspond à $\frac{35\,000}{420} = 83,3$ calories au lieu de 70,2 calories dans le cas de la pille de l'auteur.

Ces chiffres indiquent une supériorité de la pile thermoélectrique sur le groupe machine à vapeur-dynamo pour les petites puissances.

L. J.

DÉCHARGE ÉLECTRIQUE

Expériences sur les bobines d'induction, décharges par étincelles jusqu'à 100 cm de longueur dans l'air à la pression ordinaire, par **Fr. Klingelfuss**. *Drude's Annalen*, t. IX, p. 1098-1216, décembre 1902 (1).

Les décharges sont photographiées sur une plaque fixée à un disque de bois monté sur l'arbre d'un petit moteur électrique.

La nature de la décharge dépend de l'intensité du courant primaire (fig. 1).

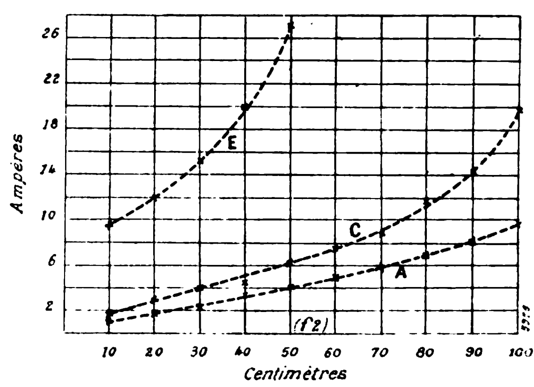


Fig. 1. — Les abscisses représentent les longueurs de l'étincelle.

A, décharge par aigrettes; C, décharge par étincelles bleues; E, décharge avec auréole épaisse.

Les photographies d'étincelles bleues montrent qu'une étincelle se compose de plusieurs décharges partielles (fig. 2 et 3). L'étincelle est d'autant plus dense et le nombre des étincelles partielles d'autant plus grand que la quantité d'électricité transportée par l'étincelle est plus considérable.

(1) *L'Écl. Élect.*, t. XXX, p. 481, mars 1902.

On trouve aussi traces de décharges dont la période va en augmentant, mais dont l'intensité est très faible. Les caractères de ces décharges font supposer qu'elles correspondent aux oscil-

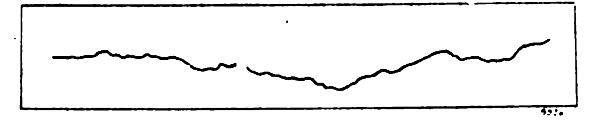


Fig. 2.

lations du système formé par les deux colonnes hautes de 60 cm qui supportent les pôles secondaires. L'enroulement secondaire, en raison de son induction propre, offre à ces oscillations très rapides une résistance énorme.

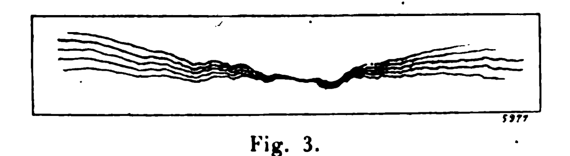


Fig. 3.

Les décharges ont un sens constant, ce qui se traduit pour les photographies par la différence d'intensité aux deux pôles. Les parties les plus

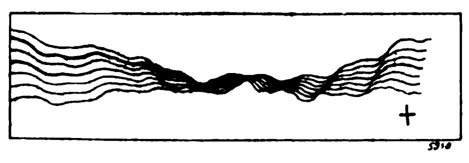


Fig. 4.

vigoureuses du cliché se trouvent toujours à la même extrémité des décharges partielles.

L'étincelle parcourt en une fois tout son trajet d'un pôle à l'autre, car les lignes photographiées sont visibles sur toute leur longueur.



Fig. 5.

L'étincelle avec auréole se produit quand on augmente l'intensité du courant primaire. Sur les photographies, l'auréole se traduit par des arcs de cercle d'une certaine étendue vers les pôles (fig. 5, 6, 7). La durée de l'auréole est en effet très notable vis-à-vis de celle de l'étincelle (0,04 sec).

Le cercle décrit par le pôle négatif est flou,

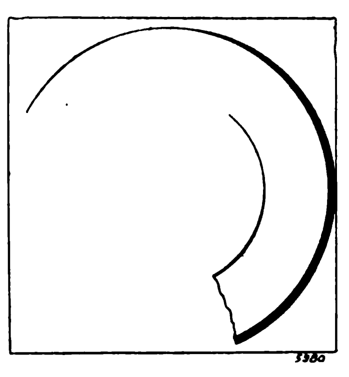


Fig. 6.

avec des alternatives d'éclat et d'extinction ; le cercle décrit par le pôle positif est beaucoup plus net : son éclat suit les variations du courant et décèle par suite la présence des stratifications.

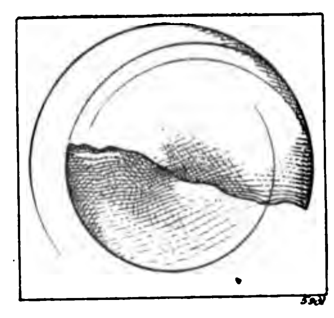


Fig. 7.

Ces cercles décrits ainsi par les pôles constituent une caractéristique de la décharge sur laquelle on peut reconnaître certaines particularités de celle-ci (1).

(1) Soient par exemple les figures 6 et 7. Si on mesure la distance qui sépare l'un de l'autre les milieux des renforcements de lumière produits par la décharge, on trouve que ces renforcements sont à peu près équidistants, sur la partie illuminée par l'auréole. Mais il n'en est plus de même si on fait cette mesure à partir de la première ligne de l'auréole en arrière vers la ligne de la décharge bleue. L'écartement devient moitié moindre dès que l'auréole commence à apparaître ; l'intensité de la décharge bleue diminue, sans doute par suite de l'amortissement. Par exemple, sur les figures 6 et 7, on voit une seule ligne de décharge bleue, mais sur le cercle positive, entre la première et la deuxième décharge de l'auréole, apparait un point brillant (marqué par un

En étudiant la déviation de l'auréole par le champ magnétique de la bobine même qui produit la décharge, on peut se convaincre qu'à aucun moment ce champ n'est alternatif.

Quand on connaît la vitesse de rotation du disque qui porte la plaque photographique, les courbes photographiées permettent de calculer la période des pulsations.

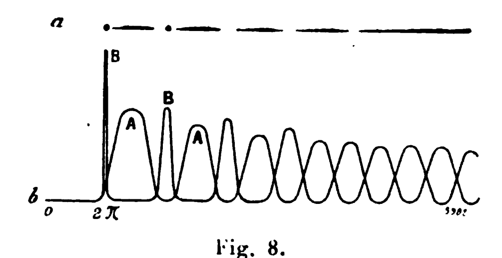


Fig. 8.

En introduisant la valeur de cette période dans la formule :

$$V_2 = \frac{I_1}{\pi} \frac{10^6}{pK} \frac{n_2}{n_1}$$

où V_2 représente la différence de potentiel secondaire, I_1 l'intensité du courant primaire, p la fréquence, K la capacité du condensateur, n_2 et n_1 les nombres de spires de l'enroulement secondaire et de l'enroulement primaire ; on peut calculer V_2. On trouve 796.10^3 volts pour une étincelle de 100 cm.

Les valeurs trouvées par ce procédé sont d'accord avec les valeurs déduites de la force électromotrice de l'extra-courant primaire et du rapport de transformation. Mais le premier procédé est plus commode au point de vue expérimental.

La même formule permettrait de déterminer le nombre n_2 des spires secondaires d'une bobine. Il suffirait de mesurer la période de cette bobine et la longueur de l'étincelle. Des mesures faites sur des bobines dont les nombres de spires sont connus, avec les mêmes pôles, on déduirait la valeur de V_2 correspondant à cette longueur d'étincelle : la formule ne contiendrait plus d'autre inconnue que n_2, si on a compté directement les spires primaires, ce qui est en général possible. M. L.

flèche). Ce point se trouve éloigné d'une demi-période de l'extrémité de la ligne de décharge bleue, c'est-à-dire à l'endroit où on verrait la deuxième ligne bleue, s'il n'y avait pas d'auréole. L'existence de ce point semble démontrer que la décharge bleue ne prend pas fin au moment où commence l'auréole, mais se continue en même temps que celle-ci. Mais les deux courants n'ont pas la même phase : dans le cas des figures 6 et 7, la différence de phase est voisine de 180°. Le point brillant correspondant à la première décharge bleue n'est pas allongé d'une manière appréciable dans le sens du mouvement de la plaque, ce qui montre que le potentiel monte très vite et retombe aussi vite. A la deuxième, le point est un peu allongé : la variation du potentiel est donc moins rapide.

L'ensemble du phénomène se représenterait par un diagramme tel que celui de la figure 8. D'après ce qui précède, la courbe de la décharge bleue va en s'affaissant progressivement.

D'autre part, les cercles négatif et positif correspondant à l'auréole gardent les mêmes caractères sur toute leur étendue : toutes les décharges partielles ont donc le même sens. Ce ne sont pas des oscillations, mais des pulsations. La ligne de décharge bleue est renforcée du côté du pôle négatif ; ce renforcement démontre que la décharge bleue et l'auréole représentent des courants de même sens. Les traits qui proviennent de l'auréole sur la photographie deviennent de plus en plus longs d'une pulsation à l'autre, jusqu'à former une ligne continue : la courbe représentative s'affaisse donc aussi peu à peu (fig. 8). Quand les pulsations ont disparu, la décharge est devenue un flux continu d'électricité.

Décharge oscillante d'un condensateur à travers un circuit de grande résistance, par **Hj. Tallqvist**. *Drude's Annalen*, t. IX, p. 1083-1099, déc. 1902.

Les valeurs du décrément des oscillations calculées par les formules de Lord Kelvin sont en général plus faibles que celles mesurées par l'expérience. Pour rétablir l'accord, il faut ajouter à la résistance réelle R du circuit un terme

$$\frac{L}{C}\left(\frac{1}{\rho} + \frac{1}{r}\right);$$

ρ et r représentant respectivement les résistances d'isolement des spires de la bobine et des armatures du condensateur. Cette correction est suffisante du moins tant que le circuit a une résistance assez faible pour que

$$\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{CR^2}{4L}}}$$

puisse être confondu avec 1.

M. Tallqvist a étudié expérimentalement la décharge oscillante dans un circuit dont la résistance est notable.

Il détermine par points la courbe de décharge,

au moyen d'un interrupteur à pendule analogue à celui de Helmholtz (fig. 1). Ce pendule supprimant le premier contact A provoque la décharge du condensateur : cette décharge est arrêtée par la suppression du contact B au bout d'un temps plus ou moins long, dont la longueur dépend de la position de B. On mesure la charge qui reste sur le condensateur en la

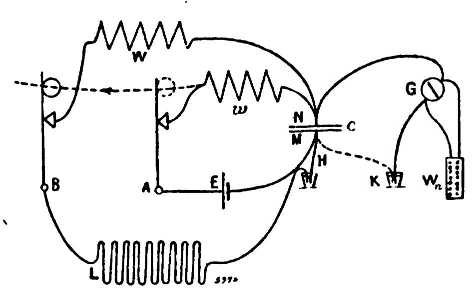


Fig. 1.

N, M, armatures du condensateur; L, bobine de self-induction; W, résistance; E, pile de charge; *r*, résistance; H, contact mobile pouvant être plongé dans l'un ou l'autre des godets à mercure D ou K; G, galvanomètre avec ses shunts W_n; A et B, contacts supprimés par le passage du pendule; A est fixe, B peut être déplacé.

faisant passer dans le galvanomètre G, ce qui s'obtient en plongeant le fil H dans le godet K.

De trois valeurs extrêmes successives M_{n-1}, M_n, M_{n+1}, on déduit la valeur de la charge normale Q_n correspondant à M_n. En supposant l'oscillation régulièrement amortie :

$$Qn = \frac{M_{n-1}\,M_{n+1} - M_n^2}{M_{n-1} + M_{n+1} - 2\,M_n} = M_{n-1} - \frac{M_{n-1} - M_n^2}{(M_{n-1} - M_n) + (M_n - M_{n+1})}$$

L'ensemble des valeurs de Q_n déterminent l'axe de la courbe. Toutes les expériences donnent pour cet axe une ligne droite, qui coïncide à très peu près avec l'axe des ordonnées.

En introduisant la pile E dans le circuit principal LBW, on détermine par le même procédé la courbe de charge. Les axes de ces courbes sont les droites qui représentent la charge totale.

Ce résultat indique que la capacité du condensateur conserve toute sa valeur pendant les oscillations.

La période T s'obtient en cherchant les points d'intersection des courbes avec leur axe.

Résultats. — La période d'oscillation décroît quand la résistance augmente, comme le veut la formule : celle-ci donne aussi le décrément exact, quand on apporte à la résistance la correction signalée ci-dessous.

De même s'il faut tenir compte de cette correction, si on veut calculer exactement la résistance critique, qui correspond à la limite entre la décharge périodique et la décharge apériodique. Il faut écrire :

$$R + \frac{L}{C}\left(\frac{1}{\rho} + \frac{1}{r}\right) = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$

M. L.

Loi suivant laquelle se développe la région cathodique obscure de Hittorf, par **H. Ebert** et **P. Ewers**. *Drude's Annalen*, t. X, p. 72-105, janvier 1903 [1].

Dans un mémoire précédent, l'un des auteurs avait énoncé, pour relier l'épaisseur d de la région cathodique obscure à la pression p du gaz, la loi simple :

$$dp^m = d_0 = \text{const.}$$

Les expériences continuées depuis cette époque ont confirmé complètement cette loi. Elle reçoit d'autre part une confirmation par les résultats de M. Lehmann et de M. Hehl. Les mesures de M. Lehmann satisfont à la loi dès que l'intensité du courant est suffisante; c'est seulement pour les intensités très faibles que les écarts deviennent notables. D'ailleurs, comme le faisait remarquer le premier mémoire, l'épaisseur de la région cathodique obscure est aussi fonction de l'intensité du courant. Aux basses pressions, la région cathodique grandit beaucoup quand l'intensité du courant diminue, tandis qu'elle se resserre quand l'intensité croît et tend vers un minimum, qui ne dépend plus que de la pression et de la nature du gaz. C'est bien d'ailleurs ce qu'on peut vérifier sur les courbes tracées par M. Lehmann.

Les expériences de MM. Ebert et Ewers ont été toutes effectuées avec des intensités de courant suffisantes pour éliminer l'nfluence de cette intensité sur les dimensions de la région obscure.

M. Hehl critique l'emploi des courants alternatifs; d'après lui, les dimensions de la région obscure doivent suivre les variations de l'inten-

[1] Cf. *Ecl. Élect.*, t. XXII, p. 72, janvier 1900.

sité pendant chacune des phases du courant. Mais cette opinion ne paraît pas du tout corroborée par l'expérience. On trouve, en effet, en se servant du tube de Braun que l'intensité du courant varie à peine pendant le temps très court où la force électromotrice est supérieure à la limite qui est nécessaire à la décharge.

Du reste, en employant une batterie d'accumulateurs à haute tension, M. Hehl retrouve la loi énoncée, même quand la cathode n'est pas entièrement recouverte par la décharge.

MM. Ebert et Ewers n'ont fait de mesures que dans un intervalle de pression assez restreint. Aux pressions très basses la décharge provoque des variations dans la composition et la pression du gaz, ce qui rend les mesures illusoires. La limite supérieure est la pression à laquelle la cathode est entièrement recouverte par les trois stratifications : à partir de ce moment, ces stratifications se détachent de tous les côtés et d'une manière uniforme de la surface de la cathode.

L'emploi du courant alternatif pourrait dans certains cas prêter à confusion, parce que les phénomènes cathodiques et anodiques se superposent à la même électrode, pour l'œil. Mais il est facile dans ces cas de reconnaître à l'aide d'un miroir tournant quelles sont les portions des phénomènes lumineux qui sont d'origine cathodique ou anodique [1].

En même temps que l'épaisseur de la région obscure on peut considérer son volume.

Ce volume se calcule, dans le cas de l'électrode en disque, par la formule :

$$V = d[A + B(a_1 + A_3) + C(a^2_1 + a_1a_3 + a^2_3)]$$

dans laquelle a_1, a_3 désigne les pointés sur la première et la troisième strate et où :

$$d = \frac{1}{2}(a_3 - a_1),\ A = 2\pi\left(r^2 - \frac{\rho^2}{2}\right),\ B = \frac{\pi^2}{2}r, C = \frac{\pi}{3}$$

r, le rayon du disque, 2ρ l'épaisseur du tube de verre qui entoure la tige supportant le disque.

Il est important d'éliminer les vapeurs de mercure et la vapeur d'eau. On arrête les premières par des tampons de feuilles d'or séparés par des tampons de coton de verre. Comme dessèchant, le meilleur est l'acide sulfurique pur, chauffé, immédiatement avant d'être employé, à 338° pour éliminer les parties volatiles.

Résultats. — Les résultats peuvent être représentés par des courbes ayant pour abscisses les valeurs de *log p* et pour ordonnées celles de *log d*. Si la loi énoncée en premier lieu est exacte, ces courbes sont des droites.

Oxygène. — La courbe qui représente le plus exactement les résultats des expériences est une droite. Si l'électrode est sphérique, l'épaisseur de la région obscure croît plus lentement que la pression ne diminue ($m < 1$). Le volume V de cette région est tel qu'elle renferme toujours à peu près la même masse de gaz, quelle que soit la pression. Quand l'électrode est un disque, l'épaisseur croît plus lentement : m est plus petit que dans le cas précédent. Des traces d'impuretés modifient les valeurs de d, mais ont peu d'influence sur m.

La forme de l'électrode n'influe guère sur le volume, mais aux pressions supérieures à 1,38 mm, l'épaisseur de la région obscure est plus grande sur le disque que sur la sphère : aux pressions inférieures à 1,38, c'est l'inverse.

Pour une même pression, l'épaisseur d est plus grande lorsque la surface de l'électrode est plus grande.

Azote. — La courbe représentative est une droite : l'épaisseur d croît quand la pression diminue plus vite que dans l'oxygène : le volume est, à la même pression, plus grand que dans l'oxygène.

Hydrogène. — A pression égale, l'épaisseur de la région obscure est plus grande dans l'hydrogène que dans tout autre gaz. La rapidité d'accroissement de d, de V, de Vp est plus grande aussi : l'exposant m a une valeur très voisine de 1. L'épaisseur est plus petite sur le

(1) Les dimensions des diverses électrodes employées étaient les suivantes :

1° Un disque d'aluminium : rayon 1 cm; épaisseur : 0,052 cm.

2° Un disque de même épaisseur, mais de 1,4 cm de rayon (surface à peu près double de celle du précédent;

3° Disque de 0,69 cm de rayon et de 0,05 cm d'épaisseur; relié à un fil très fin;

4° Boule d'aluminium massive; rayon : 0,506 cm. Lorsque la tige qui supporte les électrodes est un peu grosse, elle forme à son entrée dans l'électrode un angle rentrant dans lequel l'épaisseur de la région obscure est plus faible : cette diminution se fait sentir aussi dans les portions plus éloignées de l'électrode et cesse seulement quand la saillie de la lumière positive devient inappréciable.

Les phénomènes sont plus délimités avec les électrodes en disque plus nettement qu'avec l'électrode sphérique.



disque que sur la sphère, mais la vitesse de variation est à peu près la même.

Les moindres traces de vapeur de mercure modifient profondément les phénomènes : en particulier les lueurs blanc-bleuâtre deviennent beaucoup plus brillantes.

Oxyde de carbone. — Le produit pV est sensiblement constant : mais la première couche de Goldstein s'accroît beaucoup aux pressions très basses.

Gaz carbonique. — L'épaisseur d croît plus vite quand la pression diminue que dans l'oxyde de carbone, le produit pV est aussi à peu près constant.

Comparaison des différents gaz. — Relativement à la valeur de m, les gaz se partagent en deux groupes. Dans l'hydrogène, le gaz carbonique, l'azote m est grand : l'épaisseur de la région obscure augmente rapidement quand la pression diminue : les droites représentatives sont presque parallèles entre elles. Dans l'oxyde de carbone et l'oxygène, m est notablement plus petit.

Quant à la valeur absolue de l'épaisseur d, les gaz se rangent dans l'ordre suivant : hydrogène, gaz carbonique, azote, dans le premier groupe ; oxyde de carbone et oxygène dans l'autre. Il n'y a donc pas de relation simple entre le trajet libre moyen des molécules et cette épaisseur.

L'énergie consommée est d'autant plus grande que la région obscure est plus grande.

Le volume de la région obscure est, toutes choses égales d'ailleurs, plus grand dans l'hydrogène et plus petit dans l'oxygène que dans tous les autres gaz.

Les variations de pV n'obéissent à aucune loi simple. M. L.

Formation de l'ozone par la décharge des pointes dans l'oxygène, par **E. Warburg**. *Drude's Annalen*, t. IX, p. 781-793, décembre 1902.

La décharge électrique provoque dans une atmosphère d'oxygène limitée une ozonisation partielle. Il faut en conclure qu'il existe une action inverse, qui fait équilibre à celle de la décharge. Comme la désorganisation spontanée peut être rendue extrêmement faible pendant la durée de l'expérience, il faut attribuer cette action aussi à la décharge. Il reste à séparer dans l'expérience les deux phénomènes : ce qu'on peut faire en étudiant la vitesse de la réaction [1].

La proportion d'ozone formée se mesure par la diminution de pression qui résulte de l'ozonisation.

---

[1] Soient n_1 le nombre de molécules d'ozone, n_2 celui des molécules d'oxygène. Admettons que la composition de la masse gazeuse soit uniforme, que le nombre des molécules d'ozone formées par la décharge pendant une seconde soit proportionnel au nombre des molécules d'oxygène contenues dans un centimètre cube : enfin que le nombre des molécules d'ozone détruites pendant le même temps par la décharge et par la désozonisation spontanée soit proportionnel au nombre des molécules d'ozone par cm³. On aura :

$$dn_1 = b\,\frac{n_2}{v}\,dt - (a+a')\,\frac{n_1}{v}\,dt$$

où v désigne le volume du mélange, b une constante, a et a' d'autres constantes représentant l'effet de la désozonisation due au courant (a) et de la désozonisation spontanée (a'). D'autre part :

$$2n = 3n_1 + 2n_2\,;$$

ce qui permet d'écrire :

$$\frac{dn_1}{n} = \frac{b}{v}\,dt - \left(a + a' + \frac{3b}{2}\right)\frac{n_1}{nv}\,dt.$$

ou en posant :

$$\frac{n_1}{n} = \varepsilon,\quad \frac{1}{v}\left(a + a' + \frac{3b}{2}\right) = \frac{1}{\theta},\quad \beta = \frac{b}{v}$$

$$d\varepsilon = -\,\frac{\varepsilon}{\theta}\,dt + \beta dt.$$

En intégrant cette équation, on en tire :

$$\varepsilon = \varepsilon_\infty\left(1 - e^{-\frac{t}{\theta}}\right) + \varepsilon_0 e^{-\frac{t}{\theta}}$$

où ε_0 et ε_∞ sont les valeurs initiale et finale de ε. Par l'expérience, on détermine t et ε, puis ε_∞ alors :

$$\theta = \frac{t \log e}{-\log \delta}$$

$$\delta = \frac{\varepsilon_\infty - \varepsilon}{\varepsilon_\infty - \varepsilon_0}\,.$$

Et on peut calculer β et $\alpha + \alpha' = \dfrac{a + a'}{v}$.

$$\beta = \frac{\varepsilon_\infty}{\theta}\qquad \alpha + \alpha' = \frac{1 - \frac{3}{2}\varepsilon_\infty}{\theta}$$

Si ω est la proportion en p. 100 de l'ozone dans le volume total.

$$\omega = 100\,.\,\frac{\varepsilon}{1 - \frac{\varepsilon}{2}}\,.$$

Le coefficient θ n'est pas rigoureusement constant, mais croît avec la proportion d'ozone déjà formée. Quant à α', il est négligeable vis-à-vis de α. A 17°, une décharge par une pointe, ayant une intensité de 25 micro-ampères transforme par minute, en ozone, 2,2 p. 100 des molécules d'oxygène, mais, en même temps, détruit 61 p. 100 des molécules d'ozone existantes.

A 0° et à — 71°, on ne peut atteindre la limite d'ozonisation ; à partir d'une certaine proportion d'ozone, on ne peut plus maintenir la décharge dans les mêmes eonditions : il se produit des étincelles. Les expériences ont été poussées jusqu'à + 93°. Le coefficient β varie peu avec la température, mais entre 0° et + 93°, le coefficient α triple de valeur. Si la proportion maxima d'ozone diminue quand la température s'élève, c'est plus par suite de l'augmentation de l'action désozonisante du courant que de la diminution de l'action inverse.

Ces résultats se rapportent à l'ozonisation produite par les décharges négatives.

La proportion limite d'ozone est environ trois fois plus grande avec la pointe négative qu'elle ne l'est avec la pointe positive. Cela tient à ce que l'action ozonisante β est à peu près trois fois plus grande, tandis que l'action désozonisante α est à peu près la même.

L'influence de la température est la même à peu près pour les deux sens de décharges.

Dans les ozoniseurs usuels, la richesse en ozone du gaz qui sort, ne dépend que de la constante β si la vitesse du gaz est grande : à densité constante, β est indépendant de la température ; c'est ce qui explique comment von Babo a trouvé qu'entre — 21° et + 50° la quantité d'ozone formée était indépendante de la température.

M. L.

DIVERS

Conductibilité des poudres comprimées, par **Fr. Streintz**. *Drude's Annalen* t. IX p. 854-886, décembre 1902. 2e mém. [1].

D'une manière générale, toutes les poudres de couleur claire, (blanc, jaune, rouge, gris), sont à la température ordinaire des isolants. Il en est de même d'ailleurs de beaucoup d'autres, dont la couleur est foncée, en sorte que la conductibilité électrique est le privilège d'un nombre assez restreint de combinaisons métalliques [1].

1. *Oxydes métalliques*. — L'oxyde puce de plomb possède une conductibilité électrique de beaucoup supérieure à celle de toutes les autres combinaisons. Elle est égale presque à la moitié de la conductibilité du mercure, cette propriété est sans doute l'une de celles qui donnent l'avantage au plomb sur les autres métaux, dans la construction des accumulateurs. Le coefficient de température de la résistance est positif.

$$10^5 \sigma_t = 2,3\ [1 + 0,00065 t].$$

Le bioxyde de manganèse MnO^2 a une conductibilité beaucoup moindre, dont le coefficient de température est négatif et grand.

$$10^5 \sigma = 64\,000.$$

Combinaison de l'oxyde puce et du bioxyde de manganèse.

$$PbO^2,\ 4\ MnO^2.$$

$$10^5 \sigma_t = 7\,000\ (1 + 0,0014\ t).$$

Peroxyde d'argent Ag^2O^2. Composé mal défini : sa résistance spécifique est très élevée et se chiffre par des centaines de mille ohms.

Anhydride permanganique. Mn^2O^7. Ce composé se présente en gouttelettes d'un éclat métallique, dont l'aspect rappelle celui du mercure : la conductibilité est du même ordre de grandeur que celle de l'acide sulfurique à 5 ou 10 p. 100.

L'oxyde cuivrique, [2] l'oxyde de fer magné-

[1] *L'Écl. Élect.*, t. XXV, p. 402, déc. 1900.

[1] Les poudres étudiées sont soumises à une très forte pression, dans un cylindre en ébonite. Quand on veut opérer à une température élevée, que l'ébonite ne peut supporter, on agglomère, s'il est possible, la poudre par la pression. L'aspect et la constitution de ces agglomérés varie beaucoup avec la nature de la substance. Les unes forment des baguettes très cohérentes, douées de l'éclat et de la dureté d'un métal : ce sont les substances conductrices. Les autres, moins conductrices ne donnent que des baguettes fragiles, d'aspect mat. La conductibilité est donc en fonction de la cohésion.

Les températures élevées s'obtiennent par le chauffage électrique dans un four en magnésie, les expériences ont été effectuées aussi à la température de l'air liquide.

[2] Fondu, l'oxyde cuivrique est conducteur : broyé en poudre fine, il est isolant. La poudre chauffée au rouge devient conductrice. Il semble qu'il y ait transformation d'une variété isolante en une variété conductrice, hypothèse que rend probable l'étude des autres composés.

tique, les sesquioydes de nickel et de cobalt, l'oxyde d'uranium (U^3O^8), le sesquioxyde de molybdène, les oxydes inférieurs de manganèse (MnO et Mn^2O^3) ne sont pas conducteurs.

Oxyde de cadmium. La résistance reste invariable entre — 180° et + 200°. Au-dessus de cette dernière température, la résistance tombe rapidement et garde une valeur très faible quand on revient ensuite à la température ordinaire. Il semble donc que le composé, qui est stable, se transforme vers 200° ; l'une de ses variétés possède une faible conductibilité, indépendante de la température : l'autre une conductibilité plus grande et variant avec la température comme celle des métaux.

L'oxyde mercureux Hg^2O, éprouve sous l'influence des variations de température des variations de résistance qui s'expliquent par la séparation du mercure provoquée par la pression.

2. *Sulfures métalliques.* — Les sulfures de nickel, de fer et le sulfure de plomb amorphe ne sont pas conducteurs. Au contraire, les sulfures cuivreux et cuivrique, le sulfure de molybdène, le sulfure de mercure noir, la galène et le sulfure d'argent possèdent une conductibilité relativement grande.

Pour le sulfure cuivreux :

$$10^4 \sigma = 110 \, [1 + 0{,}0005 \, t].$$

et ses propriétés paraissent analogues à celles de l'oxyde de cadmium.

Le sulfure cuivrique est bon conducteur

$$10^4 \sigma = 5.$$

La galène a été l'objet d'expériences particulièrement étendues (1).

Le sulfure de mercure noir se comporte à peu près comme la galène.

Le sulfure d'argent Ag^2S possède des propriétés tout à fait remarquables. Quel que soit son état physique, la variation de sa conductibilité avec la température est la même. Les lois de cette variation sont analogues à celles que suit la galène. Des variations cycliques de la température entraînent une diminution de la résistance à la température ordinaire. D'autre part, la conductibilité varie si rapidement avec la température que l'échauffement produit par le courant lui-même, suffit à l'augmenter d'une manière notable. A 220°, elle est comparable à celle des métaux, sans qu'il y ait trace de décomposition. Cependant il se produit des forces contrélectromotrices analogues à la polarisation.

Dans l'air liquide, la conductibilité du sulfure d'argent est très faible.

Le champ magnétique n'influe pas sur cette conductibilité.

M. L.

(1) La résistance électrique de la galène dépend de la pression et de la température, mais aussi du temps. Suivant la valeur de la pression, la résistance peut croître quand la température s'abaisse. Mais il ne se produit pas de polarisation électrolytique.

Si l'échantillon a été porté à haute température (au-dessus de 200°), sa résistance diminue beaucoup. Si on le refroidit lentement, la résistance ne reprend pas sa valeur primitive, mais reste plus petite. Cette diminution se reproduit quand on recommence l'expérience, jusqu'à ce qu'il se produise, après 4 ou 5 cycles, un état stationnaire. On réalise aussi cet état stationnaire en comprimant la poudre chauffée à 200°.

Quand la température dépasse notablement 200°, la résistance décroit très lentement au-dessus de 250° et à partir de 350° environ, elle tend à croître de nouveau. Si on revient à la température ordinaire, la résistance reste plus grande qu'au début, continue à croître si on abandonne l'échantillon à lui-même, atteint un maximum et décroît ensuite d'une manière continue. Ce sont les abaissements de température qui provoquent le retour plus rapide à l'état stable.

La durée de l'élévation de température influe sur la rapidité de variation. L'oscillation de la résistance s'effectue d'autant plus vite que la chauffe a été plus courte.

Entre 30° et 200°, la conductibilité est bien représentée par une formule telle que :

$$K = a \, T^{\alpha}$$

où a et α sont des constantes, T la température absolue.

Dans l'air liquide, la galène acquiert une très grande résistance.

L'ensemble de ces observations paraît s'expliquer par l'existence de plusieurs états stables chacun dans certaines conditions de température : possédant les uns une grande conductibilité, les autres une conductibilité beaucoup plus faible.



SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS

SECTION DE MANCHESTER

25 novembre 1902.

L'électrochimie aux températures élevées : Notes sur les fours électriques expérimentaux et industriels, par **R.-S. Hutton** et **J.-E. Petavel.** *Electrician*, t. L, p. 308-310 et 349-351, n^{os} du 12 et du 19 décembre 1902.

Le peu de progrès des industries électrochimiques en Angleterre ne doit pas être attribué à la pénurie relative de puissance hydraulique dans ce pays. Il faut d'abord se rappeler que dans bien des cas le coût de la force motrice n'entre que pour une faible proportion dans le prix de revient du produit manufacturé. De plus, l'accès souvent difficile des régions où la puissance hydraulique peut être utilisée augmente les frais de transport. L'amélioration du rendement de la machine à vapeur, les immenses progrès réalisés récemment dans l'application des moteurs à gaz aux grandes puissances abaissent d'ailleurs le prix de l'énergie tirée du charbon.

Dans un laboratoire destiné à des travaux d'électrométallurgie expérimentale, le point capital est de disposer d'une puissance suffisante pour que les expériences puissent être conduites sur une assez grande échelle, car, si l'on ne peut songer à monter une installation comparable à celles de l'industrie, du moins faut-il pouvoir obtenir des données pratiques exactes. D'autre part, comme on doit pouvoir recommencer fréquemment chaque expérience dans des conditions diverses, la puissance employée ne doit pas dépasser certaines limites, sous peine d'entraîner des frais trop considérables.

On a employé ou proposé une si grande variété de fours électriques qu'aucun laboratoire ne pourrait contenir même les plus importants seulement. Les auteurs pensent rendre service aux électrochimistes en donnant la description du laboratoire d'Owens College. La puissance motrice, d'une valeur totale de 30 à 40 kilowatts, est fournie par un moteur à gaz et un moteur électrique qu'on peut coupler sur le même arbre. Le matériel générateur comprend : 1° une dynamo de 40 kilowatts, dont on peut faire varier la tension aux bornes entre 10 et 200 volts; le courant maximum est de 600 ampères, elle est employée pour les fours à arc ; 2° une dynamo destinée à l'électrolyse, donnant 1000 ampères à 15 volts ; 3° un alternateur triphasé de 40 kilowatts ; 4° un alternateur monophasé de 20 kilowatts ; 5° une génératrice employée autrefois par M. Mc. Dougall pour la production de l'acide nitrique et qui fournit du courant alternatif jusqu'à la tension de 16000 volts.

Dans le laboratoire d'électrochimie, la première condition à réaliser est le réglage exact des courants intenses qu'on y utilise. On emploie

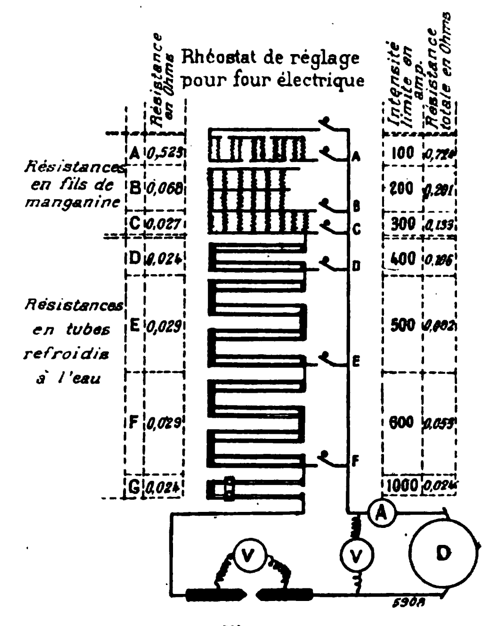


Fig. 1.

dans ce but des résistances montées en série, formées les unes de fils de manganine, les autres de tubes de maillechort refroidis par circulation d'eau. Un autre rhéostat, agissant sur l'excitation des dynamos, modifie la tension aux bornes.

On voit sur la figure 1 le diagramme des résistances en série qui servent à ce réglage : des interrupteurs permettent de mettre successivement en court-circuit les diverses portions du rhéostat. Il se compose de deux parties, la première, formée de fils de manganine, est spécialement destinée à l'allumage des fours à arc et peut supporter des courants de 300 am-

pères au maximum ; la seconde est formée de tubes de maillechort, refroidis par circulation d'eau et pouvant supporter jusqu'à 1 000 ampères. Ces tubes sont fixés à des cadres de deux modèles différents, le premier comprend des tubes parallèles de 6 millimètres, pour les intensités de moins de 600 ampères.

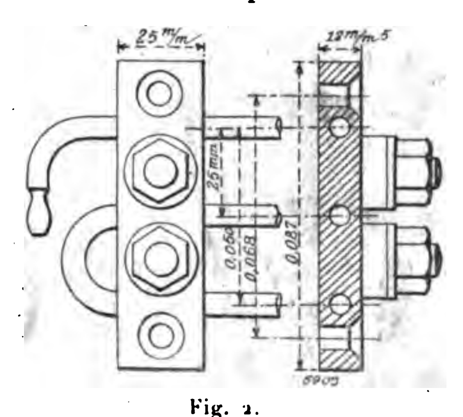


Fig. 2.

Les cadres A, B, C sont les rhéostats de fils de manganine ; ils sont fixés, avec les interrupteurs correspondants, sur un support à roulettes. Les autres cadres, fixés au mur, contiennent les tubes de maillechort à circulation

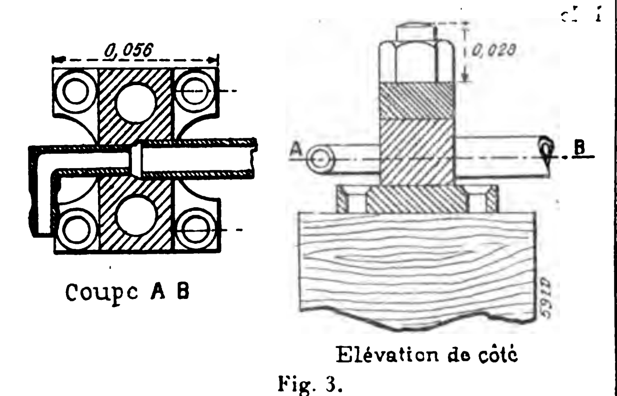


Fig. 3.

d'eau. Les tubes du cadre D ont 6 mm de diamètre, 0,6 mm d'épaisseur et environ 1,20 m de longueur. Les dimensions correspondantes pour les tubes E et F sont 6 mm, 0,75 mm et 90 cm, et pour les tubes G, 12 mm, 0,5 mm et 1,95 m.

Comme le montre la figure 2, qui donne le détail des pièces terminales, ces tubes passent à travers des barrettes de bronze épaisses de 12 mm et larges de 25, fixées elles-mêmes à des cadres de bois ; chaque barrette porte deux écrous de 9 mm qui servent de bornes terminales.

Les tubes de maillechort sont soudés dans des barrettes de bronze qui portent des écrous de 9 mm. L'eau circule à travers plusieurs tubes réunis en série, dont les assemblages sont faits par des tubes en U, comme l'indiquent les figures.

Le second modèle de cadre sert pour les intensités de 600 à 1 000 ampères : il comprend deux tubes de maillechort de 12 mm longs de 195 centimètres, reliés en série et dont la résistance totale est de 0,024 ohm. Les connexions qu'on peut voir sur la figure 3 sont semblables à celles qui viennent d'être décrites, mais plus massives. Les écrous servant aux connexions ont

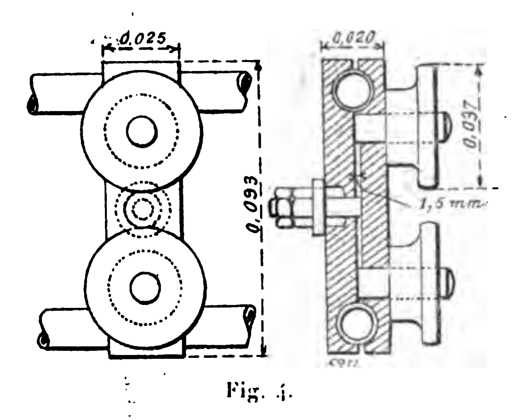


Fig. 4.

12 mm de diamètre. Pour régler l'intensité à la valeur exactement nécessaire, on emploie en outre deux curseurs du modèle représenté par la figure 4.

Ils servent au réglage des courants de grande intensité. On déplace l'un d'eux d'une faible longueur en laissant l'autre fixe, puis on déplace à son tour le second ; on évite ainsi les étincelles.

Nous devons maintenant examiner, parmi les différents fours électriques, ceux qui s'adaptent le mieux aux travaux de laboratoire. En tête de ceux-ci se place le four Moissan. Cependant, si l'on considère les nombreuses découvertes auxquelles M. Moissan a été conduit par ses recherches, on est surpris qu'un si petit nombre d'entre elles aient pu être appliquées dans l'industrie. Cela tient peut-être à ce que l'appareil qui porte son nom, parfaitement convenable aux recherches scientifiques, ne fournit guère de données pouvant servir de base à un procédé pratique. Il faut donc choisir un modèle de four semblable en principe aux fours industriels les

plus employés, afin de pouvoir opérer, sinon dans les mêmes proportions, du moins sur le même plan que dans l'usine. Un appareil du genre de celui de Haber est très commode pour représenter de nombreux modèles de fours. Nous résumons en note (1) la description de ce four et des diverses modifications auxquelles il se prête.

(1) Cet appareil, dont la figure 5 représente l'élévation, se compose d'une base de fonte, d'un support ajustable et d'un appareil d'alimentation. La base, épaisse de 12 mm, est renforcée par des nervures. A l'un des coins, un boulon de 18 mm sert de prise de courant (pôle négatif). La base carrée du support vertical est isolée par une plaque de fibre vulcanisée et maintenue par des

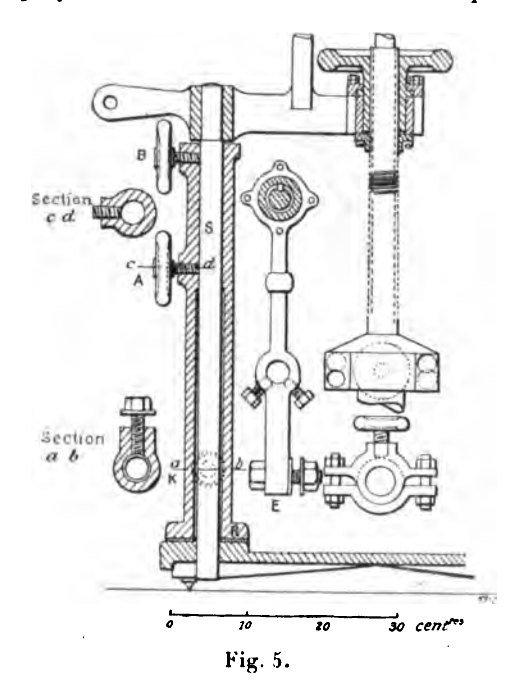


Fig. 5.

boulons ; ce support est formé par une colonne creuse en fonte R dans laquelle coulisse une tige d'acier S maintenue par les vis A et B. On peut ainsi faire varier dans de larges limites la hauteur de la tige de bronze horizontale par laquelle arrive le courant. La connexion avec le pôle positif peut se faire soit en K soit en E (la prise de courant E sert pour les intensités dépassant 600 ampères). La base de fonte forme le pôle négatif. Pour éviter les contacts glissants, qui seraient défectueux pour des courants si intenses, la tige horizontale est reliée électriquement par quatre câbles flexibles (fig. 6 A) avec le porte-charbon. Ce porte-charbon est une tige de bronze à rainure hélicoïdale, qu'on peut soulever ou abaisser de 30 cm environ au moyen d'une roue placée à la partie supérieure.

La figure 6-A représente un des modes d'utilisation de ce four. Sur la base de fonte qui forme le pôle négatif est placé un gros bloc de charbon où l'on a pratiqué une cavité qui sert de creuset. L'électrode positive est formée par un charbon de 75 mm de diamètre. Ce four



Fig. 6-A et 6-B.

est excellent pour la fabrication de l'aluminium par l'électrolyse de la cryolithe.

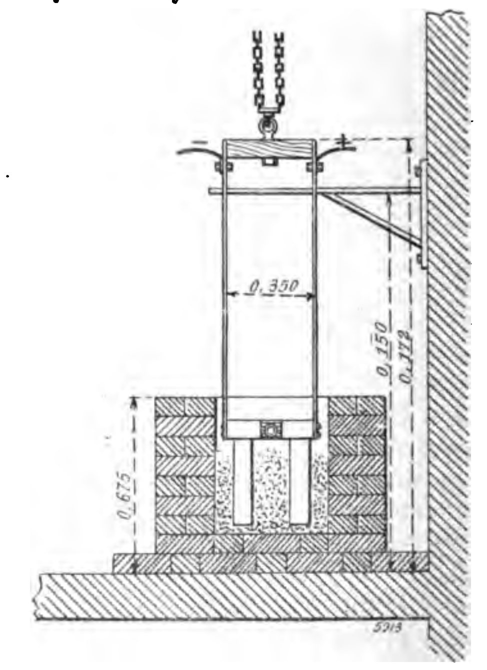


Fig. 7.

Dans l'électrolyse des sels fondus, il est souvent néces-



Ce n'est pas seulement au point de vue de l'enseignement qu'apparaîtra l'utilité de ce matériel : il n'est nullement impossible que son usage fasse apercevoir la situation de certaines difficultés des procédés pratiques.

Des travaux actuellement en cours ont pour objet de déterminer l'effet des pressions gazeuses sur les phénomènes chimiques aux températures élevées; ils sont effectués au moyen de l'appareil représenté en figure 8 [1].

La note [2] donne la classification des principaux types de fours électriques, puis les auteurs passent en revue les diverses industries auxquelles ils s'appliquent.

Carbure de calcium. — La tendance a été de simplifier autant que possible les procédés de fabrication. Le réglage du courant s'effectue automatiquement, soit en relevant les électrodes verticales, soit par quelque autre moyen d'augmenter la résistance entre électrodes. On a beaucoup discuté sur les mérites relatifs des fours continus et des fours discontinus, mais il faut remarquer que le procédé des coulées, qui donne un carbure de qualité inférieure, n'est pas la seule façon d'assurer un fonctionnement continu : avec les fours Horry, (fig. 10) [3], Siemens et Halske, etc., on a tous les avantages de la continuité sans la grande perte de chaleur qu'entraînent les coulées. On peut employer le courant continu ou le courant alternatif, mais celui-ci est plus avantageux : les génératrices à courant alternatif sont en effet plus aptes à supporter les fortes et brusques variations de charge qu'on ne peut éviter. Le courant triphasé assure une distribution plus uniforme de la chaleur.

La situation de l'industrie du carbure de calcium dépend aujourd'hui entièrement du développement de l'éclairage à l'acétylène. L'emploi de l'acétone comme dissolvant de l'acétylène, permettant d'emmagasiner ce gaz sous pression en toute sécurité, aura peut-être une grande influence sur sa consommation. D'autres appli-

---

saire, à cause de l'action corrosive de la matière traitée, d'utiliser cette matière elle-même pour le revêtement intérieur du four. On obtient ce résultat par l'emploi d'un creuset refroidi par circulation d'eau ; l'enveloppe d'eau solidifie une couche de la masse en fusion. La figure 6-B représente un de ces fours.

Le four de la figure 7 appartient au type important désigné par C dans la figure 9 ; (voir plus loin). Les deux charbons sont maintenus parallèlement dans un même support, mais isolés l'un de l'autre on les élève on les abaisse au moyen d'un palan fixé au mur. Le courant est amené par des barres de cuivre plates, qu'on fait glisser dans des rainures pour éviter toute oscillation de l'appareil. Le four lui-même est en briques réfractaires comme l'indique la figure ou bien il es formé par une grande cuve de fonte. Dans les deux cas, c'est la matière traitée elle-même qui sert de revêtement.

[1] L'appareil est un récipient d'acier qu'on place horizontalement ou verticalement et qui peut être employé avec l'un quelconque des différents types de fours. Il est timbré à 500 atmosphères et destiné à supporter une pression constante de 200. On voit à droite et à gauche les hélices par lesquelles on alimente les charbons ; à l'avant et à l'arrière, des lumières permettent au besoin de faire circuler un courant de gaz. La soupape principale, à laquelle est adapté le manomètre, se voit au-dessus. Une chemise d'eau entoure tout l'appareil, et la matière réfractaire du four proprement dit est contenue dans une enveloppe de fonte, le récipient d'acier forgé est ainsi protégé. L'appareil a été construit par MM. Lennox, Reynolds et Fyfe d'après les plans établis à Owens College.

[2] Pour faciliter la description, on a reproduit dans la figure 9 la représentation schématique des principaux types de fours électriques. A représente le four ordinaire et dans lequel le courant circule entre une électrode mobile en charbon et une plaque de charbon ou d'autre matière formant la base du four. B est un modèle de four à coulée, d'ailleurs fort semblable au précédent. C est un four à deux électrodes; dans ce cas le four proprement dit est construit en matière isolante (recouverte généralement à l'intérieur d'une couche de la matière traitée non décomposée), le courant passant entre les deux charbons. D représente un des fours qui sont employés pour l'aluminium, le zinc, etc. ; le courant passe d'une ou de plusieurs électrodes en charbon, formant le pôle positif, au pôle négatif formé par le revêtement intérieur du four. E est un four à résistances : on y emploie le plus souvent un noyau à travers lequel passe le courant, échauffant ainsi les matières qui l'entourent. Tous ces modèles, sauf D, conviennent soit au courant alternatif, soit au courant continu.

[3] Ce four appartient au type C (voir fig. 9). Le courant passe entre les deux charbons verticaux P et N, qui sont fixes. Le récipient contenant les matières s'abaisse automatiquement aussitôt que le mélange au voisinage des électrodes s'est transformé en carbure fondu. Ce résultat s'obtient en donnant au four la forme d'un tambour qui tourne très lentement sur son axe; l'échauffement se produit dans l'espace compris entre les larges rebords du tambour, le tambour lui-même et des plaques boulonnées sur la périphérie ; ces pièces métalliques sont suffisamment protégées par les matières non décomposées. On recueille le carbure à l'arrière du four, au point diamétralement opposé à la zone d'échauffement. Ce four réunit plusieurs des avantages des types continu et discontinu : il est continu dans le vrai sens du terme puisqu'il reste constamment en activité, et d'autre part le carbure en fusion n'est recueilli que lorsqu'il s'est refroidi et a cédé une grande partie de sa chaleur à la matière environnante. On règle la vitesse de rotation de la roue de façon à maintenir l'intensité à peu près constante.

cations du carbure de calcium ont été proposées, entre autres son emploi comme agent réducteur en métallurgie.

b) Métaux réfractaires et leurs alliages. — On a appliqué le four électrique à la production de certains métaux et alliages dont les propriétés sont précieuses pour la métallurgie. C'est ainsi qu'on prépare le ferro-chrome, le tungstène et le ferro-tungstène. Un des plus importants parmi ces alliages est le ferro-silicium, dont plusieurs usines ont entrepris la fabrication après avoir renoncé à celle du carbure de calcium, devenue trop peu lucrative. Le ferro-silicium trouve sa principale application dans la fonte du fer et de l'acier, où il agit comme réducteur.

Carborundum. — Cette industrie s'est développée très rapidement : de 6,75 tonnes en 1893, la fabrication du carborundum s'est élevée à 1 690 tonnes en 1901. Ce corps est très employé pour le polissage des corps durs, mais sa nouvelle application dans l'industrie de l'acier, où il remplace le ferro-silicium, est plus intéressante encore.

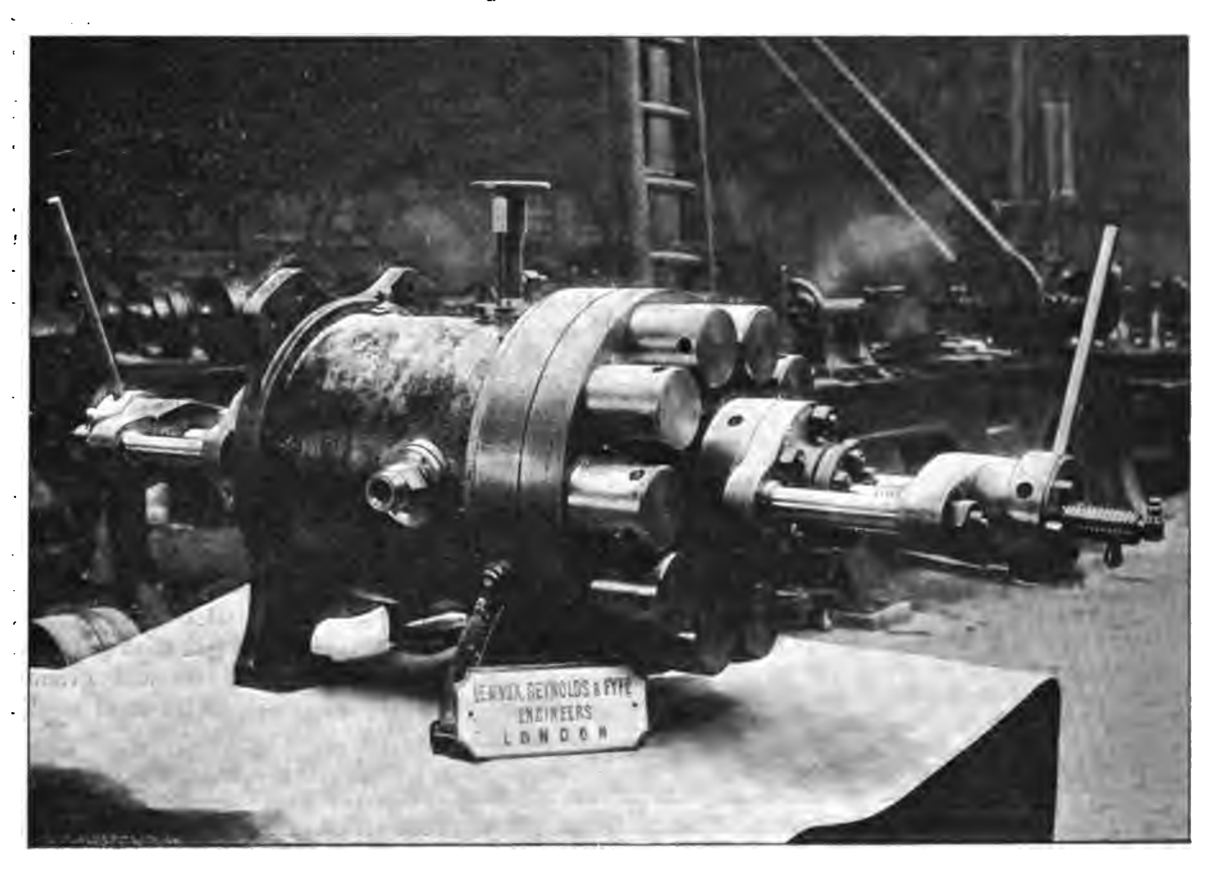


Fig. 8. — Four électrique pour l'étude de l'effet de la pression (jusqu'à 200 atmosphères).

Graphite artificiel. — Le graphite artificiel est connu depuis les travaux de Despretz en 1840 et sa préparation industrielle s'est d'abord faite par le procédé Girard and Street, qui consiste à faire passer l'arc électrique à travers du carbone amorphe. Le procédé Acheson permet de préparer en plus grande quantité du graphite pur, ne contenant que 0,1 p. 100 de cendres. Des électrodes faites de cette matière sont indispensables au succès de plusieurs procédés électrolytiques, en raison de leur nature plus compacte et de leur stabilité plus grande. La production du graphite en Amérique est passée de 73 000 kg en 1897, à 1 125 000 kg en 1901.

Aluminium. — Depuis 1889, les seuls procédés en usage pour l'extraction de l'aluminium sont celui de Héroult en Europe et celui de Hall en Amérique. Ces deux méthodes, qui paraissent fort peu différer, consistent à électrolyser de la cryolithe en fusion, à laquelle on ajoute de l'alumine à mesure que l'aluminium se sépare.

On emploie le four du type D (fig. 9), où l'une des électrodes est formée par le creuset revêtu

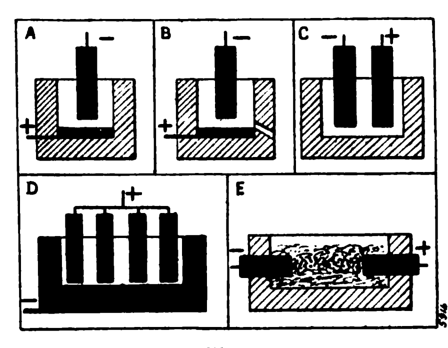


Fig. 9.

intérieurement de charbon et l'autre par un certain nombre de baguettes de charbon (1).

Sodium. — Ce métal se prépare depuis longtemps par le procédé Castner, qui consiste à électrolyser la soude caustique en fusion : le

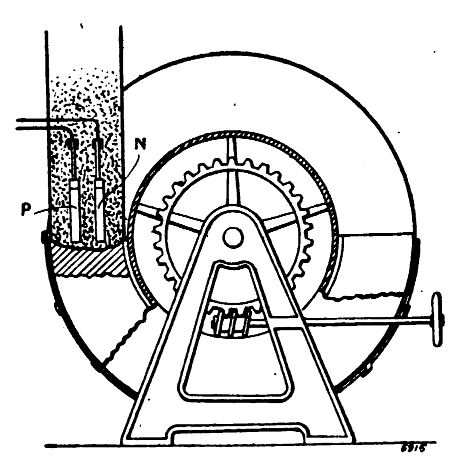


Fig. 10. — Four continu Horry pour carbure de calcium.

métal, plus léger que l'électrolyte, monte à la surface, d'où on le retire de temps en temps. Ce procédé est appliqué à Runcorn, à Niagara, en Allemagne et en France. Le point important est le réglage exact de la température, car à 20° au-dessus de son point de fusion le sodium libéré se recombine avec tant d'activité qu'il n'en vient plus à la surface. On a donné plusieurs descriptions du procédé technique ; le rendement électrique serait de 70 à 90 p. 100. A Niagara, 120 éléments environ, recevant chacun 1 200 ampères sous 5 volts, sont en activité.

Soude caustique. — Le traitement direct du sel fondu présente de grands avantages théoriques et, parmi les diverses méthodes proposées, on peut citer celles de Vautin, de Hulin et d'Acker, qui toutes emploient le plomb fondu comme cathode. Nous reproduisons en note (1) quelques détails sur le procédé Acker.

Acide nitrique. — MM. Dougall et Howles ont réussi, en faisant jaillir dans l'air un arc obtenu par le courant alternatif à haute tension, à obtenir 300 grammes d'acide nitrique pour 12 chevaux-heure. Ils employaient dans la plupart de leurs expériences un transformateur à 8 000 volts. Les travaux de Bradley et Lovejoy à Niagara ont conduit à de meilleurs résultats économiques ; ayant reconnu la supériorité du courant continu, on obtient, au moyen d'une dynamo à courant continu à 10 000 volts, 450 gr d'acide nitrique pour 7 chevaux-heures (fig. 11) (2). On s'occupe maintenant d'appliquer ce procédé à l'industrie.

(1) Dans le prix de revient de l'aluminium, le coût de la purification de la bauxite figure pour un chiffre important. La bauxite, qui est un oxyde d'aluminium hydraté, contient toujours une forte proportion de silice, d'oxyde de fer et d'acide titanique. Le procédé de purification le plus employé aujourd'hui est celui de Bayer, qui est exclusivement chimique. Une méthode nouvellement imaginée par Hall consiste à purifier la bauxite dans un four à arc du type A (fig. 9) en la chauffant au contact d'une quantité suffisante de carbone ou d'autre agent réducteur. L'oxyde entre en fusion et les impuretés sont éliminées. On retire l'oxyde après refroidissement, c'est alors une matière grise, friable, entièrement soluble dans la cryolithe. On croit que ce procédé rendrait le traitement beaucoup moins coûteux.

(1) Le procédé Acker est appliqué depuis décembre 1900 à Niagara avec une puissance de 3 250 chevaux ; les résultats sont très satisfaisants. Le succès de l'opération exige l'enlèvement rapide de l'alliage de sodium à mesure qu'il se forme, car il ne se répand que très lentement dans la masse du plomb et les alliages riches sont instables en présence du sel fondu. Acker a obtenu une circulation rapide au moyen d'une injection de vapeur qui force le plomb à s'écouler promptement sous les anodes et en même temps oxyde le sodium en donnant de la soude anhydre en fusion NaOH. La température étant très élevée, l'excès de vapeur ne se combine pas avec la soude caustique. On retire le chlore au moyen d'un ventilateur et on l'emploie à la préparation du chlorure de chaux. Les anodes, au nombre de quatre par élément, sont en graphite ; elles reçoivent chacune 2 000 ampères; la tension est de 7 volts.

(2) La dynamo à 10 000 volts D a son pôle négatif relié à l'axe tournant A, tandis que le pôle négatif est relié à des électrodes fixes séparées, par l'intermédiaire des bobines de self 1, 2, 3...

Vingt-trois étoiles semblables sont superposées sur le même axe ; les électrodes positives sont placées verticalement les unes au-dessus des autres ; mais les électrodes négatives sont décalées d'environ 2 1/2 degrés de sorte que les arcs se succèdent avec une grande rapidité.

Sulfure de carbone. — La température nécessaire à la formation de ce corps est très peu élevée, mais l'emploi du four électrique permet de la régler plus facilement. Le procédé imaginé par R.-E. Taylor consiste à traiter directement le charbon de bois par le soufre, il est appliqué depuis quelque temps à Penn Yan (Etats-Unis), où la production quotidienne est de 4 500 kilogrammes. Les fours qui servent à cette industrie sont les plus vastes qu'on ait construits (12 m de hauteur et 5 m de diamètre).

Après quelques mots sur la préparation du zinc, du manganèse, du phosphore, de l'alumine et de la baryte, les auteurs passent à la métallurgie de l'acier.

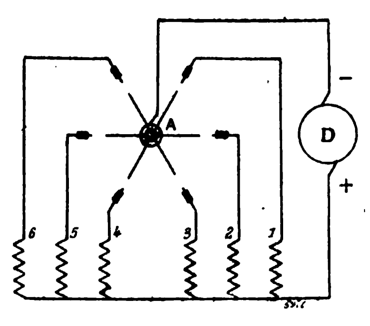


Fig. 11.

Acier. — L'application du four électrique à la fonte de l'acier a suscité dans ces dernières années l'invention d'un grand nombre d'appareils.

Le but visé est tantôt la production de l'acier au moyen de la fonte de fer, tantôt sa fabrication directe par la fusion électrique du minerai. Harmet, des Fonderies, forges et aciéries de Saint-Etienne, a étudié une méthode pour le traitement du minerai de fer ; on construit en ce moment une usine qui exploitera ce procédé. Conley propose de réduire les minerais de fer en les faisant passer entre deux plaques de résistance élevée, chauffées par un courant électrique ; le métal tombe dans un foyer, également chauffé par l'électricité. Gin a fait connaître une méthode qui consiste à traiter par la chaleur un mélange de minerais de fer et de soufre : on aurait ainsi de l'acide sulfurique et du ferro-silicium comme produits secondaires. — Benedicks en Suède et Schneider en France ont proposé des procédés de fusion par courants induits : dans les deux cas, le métal, renfermé dans un creuset annulaire, constitue le conducteur électrique entourant un anneau de fer dans lequel on fait passer un flux magnétique alternatif à grande fréquence. Le procédé Benedicks est appliqué à Gysinge (puissance utilisée : 300 chevaux ; production annuelle : 1 500 tonnes d'acier). — Les inventions de ce genre n'ont d'avenir favorable que dans les régions où la puissance hydraulique peut s'obtenir à très bas prix.

Verre. — On a proposé plusieurs méthodes pour appliquer le four électrique à l'industrie du verre, où le réglage exact de la température est un facteur des plus importants. Des essais industriels se font en ce moment à Plettenberg (Westphalie). — Pour le quartz, dont la température de fusion est très élevée, la méthode électrique est la seule qu'on puisse employer. Mais il reste à surmonter bien des difficultés avant d'arriver à la production industrielle de cette précieuse matière.

Conclusion. — On n'a que très peu de données sur la chaleur spécifique, la chaleur latente et la chaleur de combinaison des corps aux températures très élevées. La chaleur spécifique était autrefois considérée comme constante, mais l'inexactitude de cette idée est aujourd'hui reconnue : on représente la chaleur spécifique par une fonction linéaire de la température et l'on obtient par extrapolation ses valeurs aux températures élevées. Les chaleurs spécifiques n'ayant été déterminées expérimentalement que jusqu'à 1 500° C (et pour un petit nombre de corps seulement), cette méthode peut entraîner de fortes erreurs. En outre, la température réelle du four est inconnue dans la plupart des cas. On place ordinairement le point de volatilisation du carbone à 3 400° C., mais la température de l'arc lui-même peut être beaucoup plus élevée ; d'autre part, la température moyenne du four est toujours bien inférieure à celle du point de volatilisation du carbone. Avec tant d'incertitude dans les données, il n'est pas surprenant que les évaluations théoriques de la quantité de chaleur qu'exige une réaction déterminée diffèrent de près de 100 p. 100, comme l'a montré Kershaw dans le cas du carbure de calcium. Toutefois, la détermination de la chaleur totale perdue par rayonnement permet d'apprécier un des plus importants facteurs du rendement, mais le criterium définitif, dans la pratique industrielle, doit être le nombre de tonnes obtenues par cheval-an. P. I.

Le Gérant : C NAUD.

TABLE MÉTHODIQUE DES MATIÈRES (¹)

ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME

Théories et Généralités.

Conducteurs, Électrolytes et Diélectriques.

Décharge électrique.

(¹) Les titres des matières publiées dans la *Littérature des Périodiques et des Brevets* sont suivis des indications (*p*) ou (*b*); les analyses publiées dans la *Bibliographie* sont indiquées par un (B).

Oscillations hertziennes.

Rayons cathodiques, Rayons Rœntgen, Rayons Becquerel, etc.

Magnétisme.



Sources d'électricité.

Électricité atmosphérique et Magnétisme terrestre.

Thermo-électricité.

Électro et Magnéto-optique.

Électrobiologie.

APPLICATIONS

Génération et Transformation de l'énergie électrique.





Transmission et Distribution.



Applications mécaniques.

Traction et Propulsion.



Télégraphie et Téléphonie.

Électrochimie et Électrométallurgie.



Applications thermiques.

Éclairage électrique.

MESURES



DIVERS

Sociétés savantes, techniques et industrielles.



Expositions, Concours, Prix, Laboratoires.



Bibliographie.

Divers.



TABLE DES NOMS D'AUTEURS

A

B









R

S



T

V

W

Z



Tome XXXIV. Samedi 28 Mars 1903. 10e Année. — N° 13.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SOMMAIRE

Adresser tout ce qui concerne la Rédaction à M. J. BLONDIN, 171, Faubourg Poissonnière (9e arrondissement).

M. BLONDIN reçoit, 3, rue Racine, le jeudi, de 2 à 4 heures.

LITTÉRATURE DES PÉRIODIQUES

Pour la signification des abréviations, voir numéro du 14 mars, p. CXLIV.

Génération et Transformation.

Piles et accumulateurs. — La production directe de l'énergie électrique par le charbon. (Piles thermo-électriques, piles thermo-chimiques, piles à gaz.). *G C*, t. XLI, p. 107, 14 juin 1902.

Les accumulateurs pour électromobiles à l'Exposition de Düsseldorf. *E C Z*, t. IX, p. 189, déc. 1902.

L'accumulateur Edison. Extrait d'un article publié par Thomas-A. Edison dans la *North American Review*. *E. W.*, t. XL, p. 14, 5 juillet.

L'accumulateur Edison pour automobiles. *E R*, t. L, p. 932, 6 juin.

Accumulateur Max-Heilmann. *E C Z*, t. IX, p. 164, nov. 1902.

Accumulateur au thallium, par A.-L. Marsh. *E C I*, t. I, p. 88, nov. 1902.

Accumulateurs américains pour automobiles. *E C I*, t. I, p. 148, déc. 1902.

Construction d'un petit accumulateur, par H.-P. Shepherd. *A E*, t. XIV, p. 84, février 1902.

Séparateur autogène dans un accumulateur au peroxyde de nickel, par A.-L. Marsh. *E W*, t. XL, p. 942, 13 décembre.

Comment déterminer les meilleures conditions de fonctionnement des batteries d'accumulateurs, par Carl Hering. *E C I*, t. I, p. 122, déc. 1902.

Courbes indiquant la puissance disponible à un moment donné dans un accumulateur au plomb, par Ernest Lunn. *E R N Y*, t. XLI, p. 406, 27 septembre.

Contrôleur de charge des accumulateurs. *G C*, t. XLI, p. 304, 6 sept. 1902.

L'accumulateur considéré comme une cellule électrolytique, par C.-J. Reed. *E C I*, t. I, p. 127, déc. 1902.

Détérioration des plaques d'accumulateurs, par M.-U. Schoop. *E W*, t. XL, p. 657, 25 octobre.

Comparaison des accumulateurs au plomb avec les accumulateurs au nickel. *E W*, t. XL, p. 488, 27 septembre.

Terminologie des électrodes de piles et d'accumulateurs, par A.-L. Marsh. *E W*, t. XL, p. 777, 15 novembre.

Sur les noms « positive et négative » appliqués aux électrodes, par Albert-M. Lewers. *E W*, t. XL, p. 48, 12 juillet 1902.

Sur l'emploi des batteries d'accumulateurs dans les usines électriques, par A.-D. Adams. *E W*, t. XL, p. 1032, 27 déc. 1902.

Un brevet pour élément secondaire accordé en 1867. *E W*, t. XL, p. 462, 20 septembre.

Récents brevets sur les accumulateurs. *E W*, t. XL, p. 133, 26 juillet 1902.

Le couplage des batteries régulatrices, par H. de Waal. *A I M*, 3e série, t. II, p. 334-345, juin 1902.

Usines électriques. — Usines génératrices, par A.-L.-C. Fell. *S R J*, t. XX, p. 133, août 1902.

Plan d'une usine génératrice à vapeur, par W.-C. Kerr *S R J*, t. XX, p. 337, octobre 1902.

Le problème de la reconstruction des petites stations, par C.-R. Maunsell, *E W*, t. XL, p. 1033, 27 déc. 1902.

Le reconstruction et la modernisation des stations centrales, par O. M. Rau. *A E*, t. XIV, p. 65, février 1902.

Nouvelle disposition pour usines barrages, par Michel Berthier. *G C*, t. XLI, p. 302, 6 septembre 1902.

Renseignements pratiques concernant les stations centrales. — Réponses à des questions posées par l'intermédiaire de la « Boite aux Lettres » à la réunion de la « National Electric Light Association » à Cincinnati. *E W*, t. XL, p. 380, 6 septembre.

Le matériel de sous-stations à courant alternatif, par A. Mossay. *A I M*, 3e série, t. II, juin 1902.

Usine à vapeur transmettant l'énergie à longue distance pour la traction électrique. *E W*, t. XL, p. 569, 11 octobre.

Usine hydro-électrique à Atlanta (États-Unis). *E W*, t. XL, p. 823, 22 novembre.

Les installations d'énergie hydro-électrique d'Atlanta (États-Unis). *E R N Y*, t. XLI, p. 712, 22 novembre.

Usine génératrice de Bermondsey. *El.*, t. XLVIII, p. 489, 17 janvier.

Usine hydro-électrique de Blaenau-Festiniog, North Wales, appartenant à la Yales Electric Company, Ld. *E R*, t. LI, p. 433, 12 septembre 1902.

Installations hydro-électriques de la Yales Electric Power C°, dans le district de Blaenau Fostiniog, North Wales. *E R*, t. LI, p. 433-435, 12 septembre 1902.

Usine génératrice de la Compagnie d'éclairage électrique Edison, à Boston. *E*, t. LXXIV, p. 257, 22 août.

La nouvelle usine électrique municipale de Bristol. *El.*, t. XLVIII, p. 643, 14 février.

Usine hydro-électrique de Canon Ferry appartenant à la Missouri River Power Company pour une transmission à 50 000 volts, par A.-W. Clapp. *E W*, t. XL, p. 205, 9 août 1902.

Usine hydro-électrique de Champ (Isère), par A. Dumas. *G C*, t. XLII, p. 49, 22 nov. 1902.

Usine hydro-électrique de Concord (U S A). *E W*, t. XL, p. 45, 12 juillet 1902.

Usine génératrice à courants triphasés des mines de Frongoch, dans le comté de Cardigan. *E R*, t. LI, p. 436, 12 septembre 1902.

Les installations électriques de la Société hydro-électrique de Fure et Morge. *I E*, t. XI, p. 487, 10 nov. 1902.

Usine hydro-électrique de la Goule. *A E*, t. XIV, p. 52, février 1902.

Usine hydro-électrique de Hagneck (Suisse), par Henry Martin. *G C*, t. XL, p. 389, 12 avril 1902.

L'usine hydro-électrique de Hagneck (Suisse). *E R N Y*, t. XLI, p. 328, 13 septembre.

Utilisation d'une grande puissance hydraulique à Hartford (Connecticut). *E W*, t. XXXIX, p. 427, 8 mars.
Usine et réseau électriques de Hastings. *ER*, t. LI, p. 1070, 26 déc. 1902; *El*, t. L, p. 379, 26 déc. 1902.
Usine génératrice d'Islington. *El*, t. XLVIII, p. 433, 3 janvier.
Usine génératrice pour lumière et force motrice de Kalgoorlie, Australie. *ER*, t. LI, p. 447, 12 septembre 1902.
Nouvelle usine d'éclairage et de force motrice à Leeds (Angleterre). *El*, t. L, p. 51, 31 octobre.
Station centrale de Leeds (Angleterre). *E W*, t. XL, p. 809, 22 novembre.
Usine hydro-électrique de Lewiston et Auburn (Maine, U. S. A.). *E W*, t. XL, p. 441, 20 septembre 1902.
Usine génératrice de Liverpool (Résultats d'exploitation). *El*, t. XLVIII, p. 939, 4 avril 1902.
Usine à courant continu de la City of London Electric Lighting Company. *El*, t. XLVIII, p. 723-730, 28 février 1902.
Usine génératrice de Crystal Palace. *El*, t. XLVIII, p. 449, 10 janvier.
Installation électrique à Manaos (Brésil). *E W*, t. XL, p. 5, 5 juillet.
La plus importante usine hydro-électrique du Massachusetts, par Alton de Adams. *E W*, t. XL, p. 243, 16 août 1902.
Usine génératrice municipale de Melbourne. *El*, t. XLVIII, p. 524, 24 janvier 1902.
Matériel électrogène de la Prudential Insurance Company à Newark (Etats-Unis. *E R N Y*, t. XLI, p. 809, 13 décembre.
Usine génératrice de Neptune Bank, à Newcastle-upon-Tyne; W.-B. Woodhouse. Communication lue à l' « Institution of Mechanical Engineers ». *E*. t. LXXIV, p. 142, 1er août.
Usine génératrice de la « Newcastle and District Electric Lighting Company ». *E*, t. LXXIV, p. 161, 1er août.
Usine génératrice de la Newcastle and district electric lighting Company, par W.-D. Hunter. *El*, t. XLIX, p. 824, 12 septembre 1902.
Reconstruction et agrandissement de la station centrale de la « United Electric Company » du New-Jersey. *A E*, t. XIV, p. 455, octobre.
Données relatives aux principales usines électriques de New-York et de ses faubourgs. (*E W*, t. XL, p. 490, 27 septembre.
Usine génératrice de la New-York et Queens Electric Light et Power Company, à Long Island. *A E*, t. XIV, p. 371, août 1902.
Les usines de Niagara, par Stilwell. *A I E E*, t. XIX, p. 241, mars 1902.
Les nouvelles usines génératrices de la Niagara Falls Power Company, par H.-W. Buck. *ERNY*, t. XLI, p. 6, 5 juillet 1902.
Nouvelles usines génératrices de Niagara Falls Power Company, par H.-W. Buck. *E W*, t. XL, p. 52, 12 juillet 1902.
Les agrandissements de l'usine génératrice du Niagara *E R*, t. LI, p. 165, 25 juillet.
Accouplement en parallèle des usines de Niagara Falls des Etats-Unis et du Canada, par A.-B. Wecks. *E W*, t. XL, p. 131, 26 juillet 1902.
Nouvelle usine génératrice au Niagara. *E W*, t. XL, 356, 6 septembre.
La nouvelle usine génératrice du Niagara. *E R*, t. LI, p. 506, 19 septembre.
Quelques particularités d'exploitation à l'usine génératrice du Niagara. *A E*, t. XIV, p. 536, novembre.
Installations électriques de la Compagnie Est-Lumière dans la banlieue Est de Paris, par Henry Martin. *G C*, t. XLI, p. 17, 10 mai 1902.
Station centrale électrique de Waterside, à New-York, par F. Drouin. *G C*, t. XLII, p. 97, 13 déc. 1902.
Usine génératrice de la Midland Electrical corporation, à Ocker Hill. *E R*, t. LI, p. 423, 12 septembre 1902.
Usine municipale de destruction d'ordures et de génération d'énergie électrique à Partick. *El*, t. XLVIII, p. 892, 28 mars.
Usine génératrice à gaz pour lumière, force motrice dans les nouveaux ateliers de Pimlico. *E R*, t. LI, p. 451, 12 septembre 1902.
Installation hydraulique de Sault Sainte-Marie. *E W*. t. XL, p. 483, 27 septembre.
Inauguration de l'installation hydro-électrique de Sault-Sainte-Marie (Michigan), *E R N Y*, t. XLI, p. 626, 8 novembre.
Installations électriques de l'usine génératrice de Sault. Sainte Marie (Michigan). *E W*, t. XL, p. 773, 15 novembre.
Usine génératrice hydroélectrique da Shawinigan Falls. F.-C. Perkins. *ERNY*, t. XLI, p. 108-110, 26 juillet 1902.
Usine d'éclairage à Sydney. *E R*, t. LI, p. 650, 17 octobre.
Usine électrique de Stamford. *E R*, t. LI, p. 546, 26 septembre.
Usine électrique de Stamford. *El*, t. XLIX, p. 1022, 17 octobre.
Dépréciation des usines génératrices. *E W*, t. XL, p. 216, 9 août 1902.
Dépréciation des usines et machines électriques. *E R*, t. LI, p. 925, 5 décembre.
Entreprises électriques municipales. *E W*, t. XL, p. 625, 18 octobre.
Amélioration de la courbe de charge et nouvelle source de profits pour les usines d'électricité, par G. Hayler (communication lue à la « Ohio Electric Light Association »). *E R N Y*, t. XLI, p. 624, 8 novembre.
Les meilleurs moyens d'accroître la clientèle d'une entreprise d'éclairage électrique. *A E*, t. XIV, p. 463, octobre.
Tarification de l'énergie électrique. Lettre adressée à la rédaction à propos de la communication de M. Wright à l' « Institution of Electrical Engineers ». *El*. t. XLVIII, p. 470, 10 janvier.
Principes et profits de la vente d'énergie électrique (réponse à des critiques), par M. N.-B. Esson, *El*, t. XLVIII, p. 610, 31 janvier.

Les bases d'une vente rémunératrice d'énergie électrique. Extrait d'une discussion sur la communication de M. Wright à l' « Institution of Electrical Engineers ». *El*, t. XLVIII, p. 505, 17 janvier.

L'exploitation des Compagnies anglaises de distribution d'énergie électrique. — Résultats d'exploitation depuis 1891. Courbes figuratives. *El*, t. XLVIII, p. 464, 10 janvier.

Frais supportés par les Compagnies anglaises de distribution d'électricité en 1899 et 1900, *El*, t. XLVIII, p. 410, 3 janvier.

Bénéfices des entreprises d'éclairage électrique. *ERNY*, 4 janvier 1902. — Le prix de vente au compteur varie aux États-Unis de 1 fr à 1,25 fr le kilowatt-heure. — Malgré l'équité de la vente au compteur, le consommateur ne peut se rendre compte de la relation entre les indications de son compteur et la quantité de lumière ou de force qui lui est fournie. Le journal propose d'introduire dans la tarification la notion de bougie-heure ou de lampe-heure.

Frais et tarifs des stations d'éclairage. *ERNY*, 4 janvier 1902. — Notre confrère américain s'est livré à une enquête auprès des stations centrales des Etats-Unis et il en donne les résultats. Le prix de la houille, rendue à la station varie de 5 à 30 fr la tonne, avec une moyenne de 14,80 fr; 20 p. 100 des stations ont de la force motrice hydraulique en totalité ou en partie. En ce qui concerne la vente, 9 p. 100 des stations vendent à forfait, 87 p. 100 emploient exclusivement la vente au compteur et 4 p. 100 pratiquent l'un et l'autre système. Le prix de vente le plus élevé est de 1 fr, le plus faible de 0,05 fr (?) pour une station hydraulique faisant du transport de force et du tramway. Le prix de vente moyen est de 0,615 fr; la moyenne des minima accordés aux grands consommateurs est de 0,255 fr le kilowatt-heure. Le journal regrette que l'administration n'oblige pas, comme en Angleterre, les stations à publier leurs résultats d'exploitation ; ce qui permettrait d'établir les différents facteurs qui, outre le prix du combustible, déterminent les prix de revient.

Recettes des stations centrales d'électricité, par Alton D. Adams. *ERNY*, t. XLI, p. 324, 13 septembre.

Exploitation par les stations centrales d'un service de chauffage par circulation d'eau, par E.-H. Mc Knight. Communication lue à la « Ohio Electric Light Association ». *EW*, t. XL, p. 708, 1er novembre.

Examen d'un ensemble de stations centrales d'électricité pour l'éclairage public, l'éclairage particulier et la force motrice aux Etats-Unis, par Ph. Delahaye. *RI*, t. XXXIII, pp. 397-398, 4 octobre 1902. — L'auteur examine un rapport statistique de M. Alton D. Adams, relatif à 95 stations centrales du Massachussetts, rapport dont il a déjà été question dans ce journal.

Les ateliers Crompton et Co à Chelmsford. *El.*, p. 662, 15 août.

Les ateliers de la Compagnie de Constructions électriques. *El*, t. XLIX, p. 88, 9 mai 1902.

Les nouveaux ateliers de la British Thomson-Houston Company. *SRJ*, t. XX, p. 559, nov. 1902.

Nouveaux ateliers de la British Thomson-Houston Company à Rugby. *ER*, t. LI, p. 702, 24 octobre.

Les ateliers de construction de la Westinghouse Electric and Manufacturing Co, en Angleterre. *E*, t. LXXIII, p. 397, 28 mars 1902.

Procédés d'ateliers perfectionnés. *ER*, t. LI, p. 691. 24 octobre.

Transmission et Distribution.

Généralités. — Sur les systèmes de distribution de l'énergie. *AIEE*, t. XIX, p. 166, février 1902.

Distribution avec fil neutre non isolé, par E. Morgan. *ER*, t. LI, p. 338, 29 août 1902.

Distributions par courant continu à haute tension. Discussion sur la Communication de M. Barnard à la « Municipal Electrical Association ». *El*, t. XLIX, p. 512, 18 juillet.

Systèmes de distribution par courant continu à haute tension. Compte rendu de la communication de M. Barnard à la IMEA. *ER*, t. LI, p. 131, 25 juillet.

Système John S. Peck pour distribution triphasée à 4 fils. *EW*, t. XL, p. 914, 6 décembre.

La distribution polycyclique de l'électricité. *ER*, t. LI, p. 528, 26 septembre.

Distribution polycyclique d'énergie électrique système Arnold-Bragstad-La Cour. *IE*, t. XI, p. 293, 10 juillet 1902 ; p. 318, 25 juillet 1902.

Les avantages relatifs des distributions à deux et à trois fils, par John Snell. *El*, t. XLIX, p. 630, 8 août 1902.

Note sur les circuits inductifs, par W. Brew. *EH*, t. L, p. 568, 4 avril 1902.

Effets de la self-induction et de la capacité dans les lignes de transmission, par C.-H. Baillie. *ERNY*, t. XLIX, p. 635, 8 août 1902.

Sur les courants déwattés, par Feldmann. *ETR*, t. XIX, p. 176, 186 et 199, mai et juin 1902. — Conférence faite à la Société Electrotechnique de Cologne le 29 janvier et suivie d'une discussion à laquelle ont pris part MM. Waskowski, Heubach, Bartels et Sieg.

Effets de la self-induction et de la capacité dans les transmissions électriques, par G.-H. Baillie. *El*, p. 517, 18 juillet.

Courants polyphasés, par A.-C. Eborall. *El*, t. XLVIII, p. 950, 4 avril 1902.

Transposition des fils dans les lignes à courant alternatif, *IE*, t. XI, p. 537, 10 déc. 1902.

Sur la chute de tension économique, par Della Riccia. *AIM*, 3e série, t. II, pp. 20-41, janvier 1902.

Sur les mises à la terre accidentelles ou voulues des réseaux de distribution, par H. Faraday Proctor. *El*, t, XLIX, pp. 591-594, 1er août 1902. — Reproduction d'une communication faite le 4 juillet à la Incorporated Municipal Electrical Association.

Sur la mise à la terre du troisième fil des systèmes de distribution, par Hooghwinkel. *ER*, t. LI, p. 336, 29 août 1902.

Mise à la terre des canalisations secondaires. *AE*, t. XIV, p. 402, août 1902. — On a discuté à l'Electric Light Convention de Cincinnati les avantages et les inconvénients de cette pratique. Quelques orateurs s'y sont déclarés opposés, disant qu'elle accroît les dangers d'incendie ; plusieurs la recommandent pour la raison contraire. Tous invoquent leur expérience personnelle.

Mise à la terre des réseaux secondaires, par S. Bingham Hood. *EW*, t. XXXIX, p. 4, 5 juillet.

Valeur de la protection d'une mise à la terre, par K. Wilkens. *ETZ*, t. XXIII, p. 1129, 25 décembre 1902. — L'auteur discute les conditions d'exécution d'une bonne *terre* et les dangers qui peuvent résulter d'une terre mal établie ; le principe à appliquer est le même que celui de la protection du personnel d'une usine contre les dangers provenant des machines ou des tableaux de distribution à haute tension : toutes les parties qu'une personne quelconque peut toucher en même temps doivent être mises au même potentiel par des conducteurs de liaison d'une section suffisante pour ne pas être détériorés par le plus fort courant qu'ils peuvent avoir à supporter.

La protection des réseaux secondaires à courant alternatif. *AE*, t. XIV, p. 479, octobre.

Perturbations dans les circuits de haute tension et protection des appareils, par Percy H. Thomas. *AIEE*, t. XIX, p. 241, mars 1902.

Comment on peut développer une distribution de force motrice. *AE*, t. XIV, p. 383, août 1902. — Divers avis ont été exprimés sur ce sujet à la Convention de Cincinnati. Plusieurs orateurs ont conseillé de vendre les moteurs aux abonnés à très petit bénéfice ou même au prix de revient, et de donner des facilités pour le paiement.

Appareillage.

Charrue pour la pose de conducteurs électriques. *RI*, t. XXXIII, p. 176, 3 mai 1902.

Mode de suspension des câbles. *ERNY*, 28 déc. 1901. Il se compose d'une bande de zinc attachée à un crochet en acier galvanisé et à une sorte de boucle à l'autre extrémité. Pour attacher le câble à soutenir, on passe la bande autour du câble, et le crochet à travers la boucle. La suspension s'applique à toutes les sections.

Nouvelle manufacture de câbles électriques à Shouscetown (Pensylvanie). *ERNY*, t. XLI, p. 771, 6 décembre.

Notes sur l'industrie des câbles en Allemagne, par O. Gorman. *ER*, t. L, pp. 88-89, 17 janv. 1902.

Etuve à vide pour câbles, fils, bobines, armatures. *El*, t. LXXIV, p. 358, 19 déc. 1902.

L'industrie de l'amiante dans la province de Québec. *CC*, t. XLI, p. 176, 12 juillet 1902.

Composition des porcelaines employées en électricité. *EW*, t. XL, p. 783, 15 novembre.

Procédé Elihu Thomson et J.-G. Callan pour l'isolement des fils. *EW*, t. XXXIX, p. 516, 22 mars.

Travaux récents sur le caoutchouc et ses dérivés. Essai d'une théorie de la vulcanisation du caoutchouc, par Carl. Otto Weber. *MSQ*, 4e série, t. XVI, septembre 1902.

Pose de fils pour travaux de laboratoire. *ER*, t. L, p. 928, 6 juin.

Réducteur disjoncteur à rupture brusque, par A. Bainville. *El*, t. XXIII, p. 10, 5 juillet 1902.

Interrupteur à huile combiné à un coupe-circuit. *EW*, t. XL, p. 227, 9 août 1902.

Interrupteur à huile pour hautes tensions. *ER*, t. LI, p. 456, 12 septembre 1902.

Interrupteur pour courants intenses. *EW*, t. XL, p. 229, 9 août 1902.

Coupe-circuit pour hautes tensions, par Joseph-Martin Roman. *EW*, t. XL, p. 247, 16 août 1902.

Résistances en carbone, par A.-C. Longden. *PR*, t. XV, p. 355, décembre 1902.

Appareil Gilbert et Lundin pour maintenir uniforme la résistance des circuits de lampes à arc. *ERNY*, t. XLI, p. 648, 8 novembre.

Indicateur de terre pour tramways et chemins de fer électriques. *GC*, t. XLII, p. 109, 13 décembre 1902.

Parafoudres à double fil pour lignes téléphoniques et télégraphiques, par S. Anizan, *Ele*, t. XXIII, p. 22, 12 juillet 1902.

Le rôle des résistances en dérivation et en série dans les parafoudres, par Percy-H. Thomas. *ERNY*, t. XL, p. 867, 28 juin 1902 ; *Ele*, t. XXIII, p. 196, 27 septembre 1902.

La protection des lignes aériennes contre la foudre, par Dussaugey. *SIE*, 2e série, t. II, p. 633, août 1902.

Méthodes modernes dans la construction des tableaux de distribution, par H.-P. Davis, *SRI*, t. XX, p. 483, novembre 1902.

Tableau de distribution pour petite installation. *EW*, t. XXXIX, p. 488, 15 mars 1902.

Tableau de distribution d'une sous-station à quatre commutatrices Thomson-Houston de 300 kilowatts. *Ele*, t. XXIII, p. 200, 27 septembre 1902.

Nouveau tableau de distribution de la station de City Road, distribuant l'énergie électrique aux districts de Saint-Luke et Clerkeuwell. *ER*, t. LI, p. 461, 12 septembre 1902.

Installations. — Installation d'éclairage et de force motrice dans une maison particulière. *AE*, t. XIV, p. 386, août 1902.

Statistique des Compagnies de distribution d'électricité, *El*, t. L, p. 470, 9 janvier.

Les distributions d'énergie électrique en Grande-Bretagne. *ER*, t. LI, p. 472, 12 septembre 1902. — Cet article énumère les grandes distributions d'énergie électrique d'Angleterre et donne sur chacune d'elles quelques renseignements techniques et économiques. Les territoires occupés par chacune de ces entreprises sont représentés sur une carte.

Distribution d'énergie électrique dans le département de

PIRELLI & CIE, MILAN

GRAND PRIX
PARIS
1900

Société pour l'exploitation générale du Caoutchouc, de la Gutta-Percha et Similaire

FONDATEURS DE LA Sté PIRELLI & Cie

FABRIQUE ESPAGNOLE DE FILS ET CABLES ÉLECTRIQUES

Villanueva y Geltrú (Espagne)

FILS ET CABLES ÉLECTRIQUES ISOLÉS

Siège social et Usine principale à MILAN

Usine succursale pour la construction des câbles sous-marins SPEZIA

CABLES SOUTERRAINS ET SOUS-MARINS

CABLES TÉLÉPHONIQUES *avec isolement de papier à circulation d'air*

Société Anonyme des anciens Établissements

PARVILLÉE FRÈRES & CIE



Capital : 1,000,000 de fr. — Siège social : 29, rue Gauthey, PARIS, 17e



Chauffe-pieds électrique pour Bureaux, n° 182.

PORCELAINES & FERRURES

pour l'Électricité

* * *

CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE

* * *

Adresse télégraphique : **CÉRAMIQUE-PARIS**

Téléphone : **510-72**

" L'ÉLECTROMÉTRIE USUELLE "



MANUFACTURE D'APPAREILS DE MESURES ÉLECTRIQUES

Ancienne Maison L. DESRUELLES

GRAINDORGE, Successeur

Ci-devant 22 rue Laugier,

Actuellement 84, boulevard Voltaire (XIe) PARIS

Téléphone 922-53

VOLTS-MÈTRES ET AMPÈRES-MÈTRES

industriels et apériodiques sans aimant

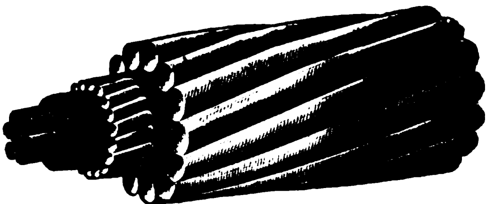
TYPES SPÉCIAUX DE POCHE POUR AUTOMOBILES

Envoi franco des tarifs sur demande.

FELTEN & GUILLEAUME CARLSWERK



Actien-Gesellschaft, MULHEIM-SUR-RHIN



Fabrique de fils de fer et d'acier

Fils de cuivre. — Fils de bronze et de bronze doublé (Breveté.)

Fils conducteurs

à isolement de toutes espèces, guipés, tressés, etc.

CABLES

à isolement de gutta-percha, de caoutchouc vulcanisé, d'oconite, de fibre imprégnée de papier et à espaces d'air, etc.

POUR TÉLÉGRAPHIE, TÉLÉPHONIE, ÉCLAIRAGE ET TRANSMISSION ÉLECTRIQUE DE FORCE

Agents en France et en Belgique { **J. JACQUOT**, 30, rue des Bourdonnais, **PARIS**.
GERNAERT et Cie, 3, rue d'Arlon, **BRUXELLES**.



SAUTTER, HARLÉ & Cie

26, avenue de Suffren, **PARIS**

Exposition Universelle, Paris 1900

3 GRANDS PRIX, 4 MÉDAILLES D'OR, HORS CONCOURS, JURY (Cl. 117)

POMPES ÉLECTRIQUES

Système RATEAU. Breveté S. G. D. G.

Pour fonçages, élévation, épuisements, etc.

VENTILATEURS

A HAUTE ET BASSE PRESSION

Système RATEAU. Breveté S. G. D. G.

GROUPES ÉLECTROGÈNES

Avec TURBINES A VAPEUR

Système RATEAU

SCHNEIDER & Cie

Siège social et Direction Générale, à PARIS, 42, rue d'ANJOU

MOTEURS A VAPEUR

Machines Corliss, Machines Compound, Machines monocylindriques à grande vitesse, Machines pour la commande directe des dynamos

MOTEURS A GAZ

Système « SIMPLEX » de M. DELAMARE-DEBOUTTEVILLE. — Moteurs fonctionnant soit au gaz de gazogène, soit au gaz de hauts fourneaux MM. SCHNEIDER et Cie, concessionnaires pour toute puissance. Souffleries et groupes électrogènes actionnés par moteurs à gaz.

ÉLECTRICITÉ

Installations complètes pour la production et l'utilisation de l'énergie électrique, Tramways, Locomotives électriques, Grues, Treuils, Ponts roulants, Monte-charges, Ascenseurs électriques.

DYNAMOS SCHNEIDER TYPE S, A COURANT CONTINU

Dynamos pour électrochimie et électrométallurgie. Dynamos pour fabrication du carbure de calcium

DYNAMOS ET TRANSFORMATEURS A COURANTS ALTERNATIFS

BREVETS ZIPERNOWSKI, DÉRY & BLATY

Appareils à courants diphasés et triphasés. Système GANZ (Brevets N. TESLA)

Renseignements Techniques — Renseignements Commerciaux
Renseignements statistiques

LE VOLTA

Annuaire de l'Electricité et des Industries annexes

Un fort volume in-4° relié, 3000 pages, 800 figures
Paris, 15 francs.

Départements et Etranger, *franco*, 16 francs

RUE LAFAYETTE, N° 53, PARIS (9e)

Le VOLTA *est à la fois le Larousse et le Bottin de l'Electricité.*

FOURNITURES GÉNÉRALES

POUR L'ÉLECTRICITÉ

LUSTRERIE

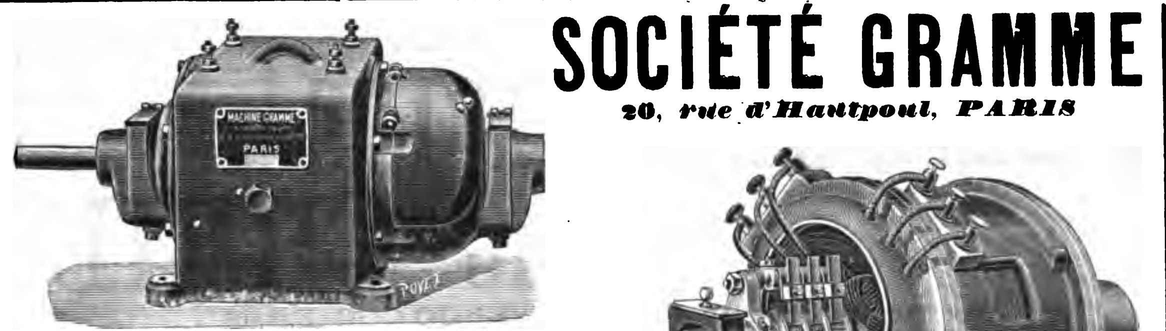
Catalogue franco sur demande

LUCIEN ESPIR

11 bis, rue de Maubeuge, PARIS

SOCIÉTÉ GRAMME

20, rue d'Hautpoul, PARIS



Moteur type léger fermé.

DYNAMOS ET MOTEURS COURANT CONTINU

ALTERNATEURS — MOTEURS ASYNCHRONES

ACCUMULATEURS

LAMPES A ARC & A INCANDESCENCE — APPAREILLAGE

Envoi franco du Catalogue sur demande.



Moteur asynchrone triphasé

Exposition Universelle, Paris 1900 — Hors Concours — Membre du Jury

GRAND PRIX — DIPLOME D'HONNEUR — MÉDAILLE D'OR



Exposition de Bordeaux 1895 — Hors Concours — Membre du Jury
1897. Médaille d'or de la *Société d'encouragement* pour l'industrie nationale pour perfectionnement aux turbines hydrauliques.

TURBINE HERCULE-PROGRÈS

Brevetée S. G. D. G. en France et dans les pays étrangers
LA SEULE BONNE POUR DÉBITS VARIABLES
400.000 chevaux de force en fonctionnement

Supériorité reconnue pour Eclairage électrique, Transmission de force, Moulins, Filatures, Tissages, Papeterie, Forges et toutes industries.

Rendement garanti au frein de 80 à 85 p. 100
Rendement obtenu avec une Turbine fournie à l'Etat français 90,4 p. 100

Nous garantissons, au frein, le rendement moyen de la Turbine « **Hercule-Progrès** » *supérieur à celui de tout autre système ou imitation, et nous nous engageons à reprendre dans les trois mois tout moteur qui ne donnerait pas ces résultats.*

AVANTAGES. — Pas de graissage. — Pas d'entretien. — Pas d'usure. — Régularité parfaite de marche. — Fonctionne noyée, même de plusieurs mètres, sans perte de rendement. — Construction simple et robuste. — Installation facile. — Prix modérés.

Toujours au moins 100 Turbines en construction ou prêtes pour expédition immédiate.

PRODUCTION ACTUELLE DES ATELIERS : **QUATRE TURBINES PAR JOUR**

SOCIÉTÉ DES ÉTABLISSEMENTS SINGRUN. Société anonyme au capital de 1.500,000 francs, à Epinal (Vosges)

RÉFÉRENCES, CIRCULAIRES ET PRIX SUR DEMANDE

USINES de PERSAN-BEAUMONT (S.-&-O.)

Manufacture de

CAOUTCHOUC, GUTTA-PERCHA

CABLES ET FILS ÉLECTRIQUES

The India Rubber, Gutta-Percha Telegraph Works C° (Limited)

USINE **PERSAN** (Seine-et-Oise) — USINE SILVERTOWN (Angleterre)

97, boulevard Sébastopol, PARIS

Médailles d'Or aux Expositions Paris 1878, 1881 et 1889

EXPOSITION UNIVERSELLE PARIS 1900

GRAND PRIX et MÉDAILLE D'OR

Envoi franco, sur demande, de Tarifs comprenant tous les Articles de notre fabrication.

C. NAUD, Editeur, rue Racine, 3, Paris

Vient de paraître :

LES

PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES

ET LEURS APPLICATIONS

Etude historique, technique et économique des *Transformations de l'Energie Electrique.*

PAR

Henry VIVAREZ

Ancien élève de l'Ecole Polytechnique

Un volume in-8° carré de 376 pages, avec 254 figures et une carte hors texte

Cartonné à l'anglaise. — Prix. . . . . . . 15 fr.



l'Aude. Usine hydro-électrique de Saint-Georges. *I E*, t. XI, p. 415, 25 septembre 1902.

Distribution triphasée à 20 000 volts dans le département de l'Aude (France), par P. LETHEULE. *E W*, t. XL, p. 691, 1er novembre.

Grande distribution d'énergie électrique dans le département de l'Aude (France). *El*, t. L, p. 133, 14 novembre.

Distribution de l'énergie électrique à Berlin. *G C*, t. XLI, p. 61, 24 mai 1902.

Nouveau projet d'utilisation de puissance hydraulique au Canada. *E W*, t. XL, p. 581, 11 octobre.

Transmissions à haute tension dans le Far-West. *E R N Y*, t. XLI, p. 371, 20 septembre ; p. 411, 27 septembre.

Transmission de force par l'électricité dans les ateliers de la Palmer Shipbuilding and Iron Co à Jarrow-sur-Tyne (Angleterre), par Ch. DANTIN. *G C*, t. XL, p. 225, 1er février 1902.

Nouvelles installations électriques dans le Sud-Ouest du Lancashire. *E R*, t. LI, p. 80, 11 juillet.

Statistique de la distribution d'énergie électrique dans le Massachusetts. *E W*, t. XL, p. 487, 27 septembre.

La puissance hydraulique appliquée à l'électricité dans le Massachusetts. *E W*, t. XL, p. 529, 4 octobre.

Distribution d'énergie électrique dans le Midland. *E*, t. LXXIV, p. 201, 15 août.

Transmission électrique à 50 000 volts (distribution du Missouri). *E R*, t. LI, p. 863, 21 novembre.

Transport d'énergie électrique en Nouvelle-Zélande. *E R*, t. LI, p. 65, 11 juillet ; p. 111, 18 juillet.

Installations électriques sur la côte du Pacifique. Communication lue à la « New-York Electrical Society ». *E*, t. LXXIV, p. 272, 29 août.

Nouvelles installations électriques de la côte du Pacifique. *E R N Y*, t. XLI, p. 309, 6 septembre ; p. 541, 18 octobre.

Les secteurs de distribution d'électricité à Paris, par Charles MARQUET. *G C*, t. XL, p. 346, 22 mars 1902 ; p. 359, 29 mars 1902 ; p. 377, 5 avril 1902 ; p. 395, 12 avril 1902 ; p. 410, 19 avril 1902.

La distribution de l'énergie électrique dans Paris au 1er octobre 1902, par J. LAFFARGUE. *I E*, t. XI, p. 461, 25 octobre 1902.

Transmission hydro-électrique pour l'éclairage du Springfield (Massachusetts). *E W*, t. XL, p. 357, 6 septembre.

Transmission dans le Sud du Staffordshire (II), par R. N. TWEEDY et P. J. PRINGLE. *T T*, t. V, p. 170, 242, novembre-décembre.

Distribution de force motrice électrique aux usines Westinghouse de Trafford Park. *E R*, t. LI, p. 428-430, 12 septembre 1902. — La distribution de force motrice dans ces usines se fait par courants triphasés à 440 volts et 25 périodes ; le matériel générateur se compose de deux alternateurs de 750 kilowatts et deux de 250 kilowatts. Les moteurs sont du type C, à rotor en cage d'écureuil ; leurs applications sont des plus variées.

Projet de la distribution d'énergie électrique du Yorkshire. *E*, t. LXXIV, p. 65, 18 juillet.

Rapport du Comité de la « Institution of electrical Engineers » sur la législation électrique. *El*, t. XLIX, p. 46, 2 mai 1902.

Règlements du « Board of Trade » pour les très hautes tensions. *El*, t. XLVIII, p. 620, 31 janvier.

La législation sur l'électricité en Suisse. *E R*, t. LI, p. 917, 28 novembre.

Applications mécaniques.

Moteurs. — Le moteur électrique. (Leçons d'électricité pratique.) *A E*, t. XIV, p. 444, septembre 1902.

Moteurs électriques : théorie et construction (3e article), par H.-M. HOBART. *T T*, t. IV, p. 206, août ; t. V, p. 231, décembre 1901.

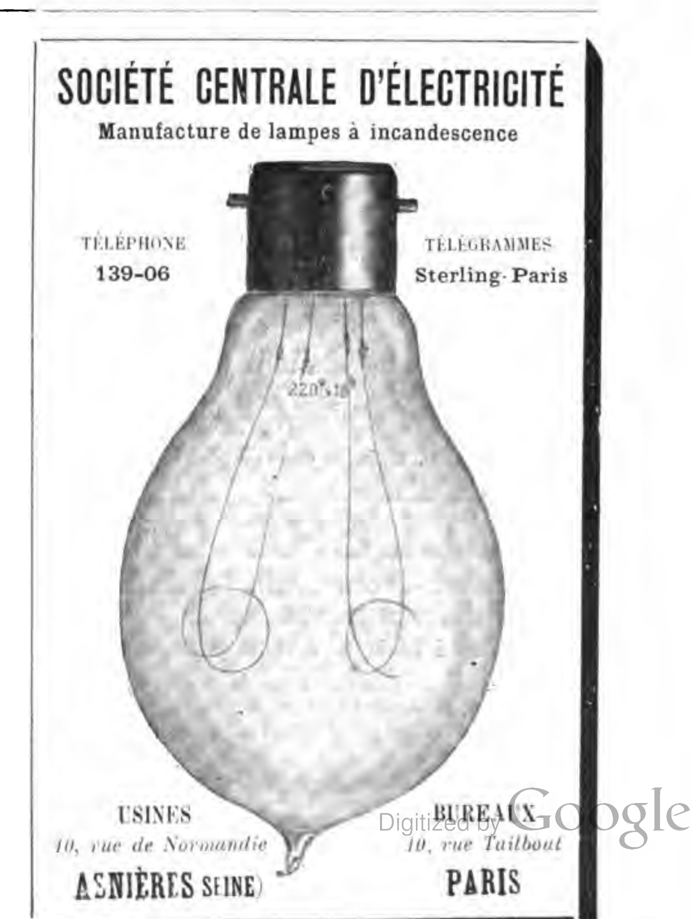


Diagramme circulaire des moteurs à champ tournant, avec considération de la chute ohmique et des pertes dans le fer du primaire, par J.-K. SUMEC, *Z E T*, t. XXI, p. 1, 4 janvier 1903. — L'auteur trace le diagramme circulaire bien connu des moteurs d'induction, en y faisant toutefois intervenir les pertes dans le cuivre et dans le fer du primaire ; puis, il en déduit un certain nombre de formules destinées à permettre le calcul facile des diverses constantes d'un moteur d'induction.
Moteurs électriques à vitesse variable des Ateliers de construction d'Oerlikon. *G C*, t. XLI, p. 398, 18 octobre 1902.
Moteur électrique à vitesse variable de la « Storey Motor and Electric Company » de Harrison (Etats-Unis). *A E*, t. XIV, p. 500, octobre.
Moteurs à courant continu à vitesse variable pour les machines à fabriquer le papier. *E W*, t. XL, p. 379, 6 septembre.
Moteurs d'induction pour courant alternatif monophasé employés dans les ateliers de A.-I. Jones et Cie, à Hammersmith. *E R*, t. LI, p. 460, 12 septembre 1902.
Moteurs triphasés à grande variation de vitesse, par le Dr H. BEHN ESCHENBURG. *El*, t. L, p. 178, 21 novembre.
Notes sur la théorie du moteur synchrone, par Ch.-P. STEINMETZ. *E R N Y*, t. XLI, p. 50, 12 juillet 1902.
Le moteur asynchrone infiniphasé, par O. COLARD. *A I M*, 3e série, t. II, p. 8-20, janvier 1902.
Nouveau moteur asynchrone de Heyland, par BOY DE LA TOUR. *I E*, t. XI, p. 245, 10 juin 1902.
Le moteur asynchrone sans déphasage Heyland, par REZELMAN. *A I M*, 3e série, t. II, juin 1902.
Le moteur monophasé Heyland. *El*, t. L, p. 55, 31 octobre.
Le moteur monophasé Heyland. *E W*, t. XL, p. 817, 22 novembre.
Moteurs asynchrones polyphasés alimentés par des réseaux monophasés, par A.-S. M'ALLISTER. *A E*, t. XIV, p. 385-386, août 1902. — L'auteur indique les dispositions à prendre dans ce cas pour le démarrage des moteurs diphasés ou triphasés. Pour les installations comprenant plusieurs moteurs, il décrit un système qui dispense de les munir d'appareils de démarrage, à l'exception d'un seul d'entre eux.
Les moteurs synchrones monophasés, par G. MARKOVITCH. *A I M*, 3e série, t. II, p. 269-332, avril 1902.
Calcul des moteurs synchrones, par F.-G. BAUM. *Ele*, t. XXIII, p. 267, 25 octobre 1902 ; p. 281, 1er novembre 1902.
Dispositif pour la synchronisation de deux moteurs électriques, par William DUANE. *E W*, t. XXXIX, p. 472, 15 mars 1902.
Le démarrage des moteurs à courant continu, par BRUNHES. *A I M*, 3e série, t. II, p. 214-269, mars 1902.
Appareil de démarrage K.-A. Lindstrom pour moteurs asynchrones. *E W*, t. XXXIX, p. 445, 8 mars.
Appareil de démarrage et interrupteur de MM. Veritys, Limited, de Manchester. *E R*, t. LI, p. 419, 12 septembre 1902.
Appareil Caryl D. Haskins pour empêcher le démarrage à vide des moteurs. *E R N Y*, t. XLI, p. 714, 22 novembre.
Système T.-J. Johnson pour la mise en marche des moteurs synchrones. *E W*, t. XL, p. 825, 22 novembre.
Système de la « Wagner Electric Company » pour réduire le courant de démarrage des moteurs monophasés. *E W*, t. XL, p. 676, 25 octobre.
Mise en circuit rapide des résistances de démarrage, par H.-C. HEIDRICH. *E R N Y*, 4 janvier 1902. — Pour empêcher le mouvement automatique de la manette des rhéostats de démarrage vers la position de repos en cas de baisse de vitesse momentanée, on la munit d'un électro-aimant qui la retient en place, jusqu'à rupture. Mais souvent, après la rupture, l'électro-aimant reste aimanté par le courant induit dans le moteur à la faveur du magnétisme rémanent. Si on remet alors le circuit en état, le rhéostat est dans la position de marche, et le moteur peut être brûlé. Pour éviter cet inconvénient, l'auteur place en série sur le circuit principal un relais dont l'armature coupe le circuit d'une ligne mettant l'électro-aimant d'échappement du rhéostat en court-circuit. Aussitôt que le courant de la ligne est coupé, ce circuit est fermé et l'électro-aimant susdit est désaimanté et laisse échapper la manette qui se met dans la position de repos.
Sur le freinage des électromoteurs par mise en court-circuit de l'induit, par F. MULLER. *E T R*, t. XX, p. 61, 15 décembre 1902. — L'auteur décrit un dispositif de rhéostat pour l'arrêt des presses d'imprimerie. Le système permet sans occasionner de frais de résistances de freiner le moteur tout en évitant l'échauffement de l'induit par la mise brusque en court-circuit.
Système H.-W. Leonard pour régler le couple et la vitesse des moteurs électriques. *E R N Y*, t. XLI, p. 533, 18 octobre.

Appareils et machines. — Systèmes de manœuvre des ascenseurs électriques. *A E*, t. XIV, p. 515, novembre.
Frein électrique HOLLINS et AMENDT pour ascenseur. *Ele*, t. XXIII, p. 34, 19 juillet 1902.
Manœuvre électrique pour ascenseurs, système Roux, Combaluzier et Cie. *R I*, t. XXXIII, p. 261, 5 juillet 1902.
Les monte-charges électriques de l'Hôtel des Postes de Paris, par V. BELUGOU. *G C*, t. XLI, p. 203, 26 juillet 1902.
Appareils de levage électriques. *E R N Y*, t. XLI, p. 350, 13 septembre.
Appareils de levage électriques, par Philip DAWSON. *T T*, t. IV, p. 227, août ; t. V, p. 188, novembre, et p. 264, décembre 1902.
Appareils de levage construits par les Établissements Postel Vinay. *R I*, t. XXXIII, p. 125, 29 mars 1902.
Installations électriques des élévateurs de grains américains du Great Northern. *E R*, t. LI, p. 1051, 19 décembre 1902.
Consommation d'énergie des élévateurs actionnés par courant continu et par courants alternatifs, par G.-F. SEVER. *A I E E*, t. XIX, p. 385, avril 1902.
Appareils de levage électriques pour usines métallurgiques. *E W*, t. XXXIX, p. 551, 29 mars.
Sûreté de fonctionnement des appareils de levage, par O.-F. SHEPARD. *E W*, t. XL, p. 253, 16 août 1902.
Machine d'extraction actionnée électriquement des mines de Harpener. à Dortmund. *E*, t. LXXIV, p. 138, 1er août.
Machine d'extraction mue électriquement. *E R N Y*, t. XLI, p. 295, 6 septembre.
Elévateur électrique de charbon à vitesse variable, par P.-O. KEILHOLTZ. *A E*, t. XIV, p. 567, décembre 1902.
Appareil électrique H.-W. Leonard pour faire du charbon en mer. *E W*, t. XL, p. 584, 11 octobre.
Chargeuse électrique, système Wellman, pour fours Siemens-Martin. *G C*, t. XL, p. 257, 8 février 1902.
Grues et cabestans électriques des docks de Middlesbrough *El.*, t. XLVIII, p. 606, 7 et 21 février.
Pont roulant électrique de 5 tonnes de la Wellman Seaver Engineering Company, de Cleveland (Ohio). *E*, t. LXXIII, p. 182, 7 février 1902.
Pont roulant électrique de 60 tonnes des Forges natio-

nales de la Chaussade, par Ch. Dantin. *G C*, t. XLI, p. 249, 16 août 1902.
Machine à peser et à compter. *E W*, t. XXXIX, p. 490, 15 mars 1902.
Commande électrique à distance des soupapes d'arrêt de vapeur, système Valmier. *R I*, t. XXXIII, p. 184, 10 mai 1902.
Système Monarch pour l'arrêt des machines. *E R*, t. LI, p. 679, 17 octobre.
Engrenages commandés électriquement. *E R*, t. LI, p. 427, 12 septembre 1902.
Système d'horloges électriques Newton Harrison. *E R N Y*, t. XLI, p. 493, 11 octobre.
Les machines-outils modernes, par H.-F.-L. Orcutt. Communication lue à l' « Institution of Mechanical Engineers. » (*El.*, p. 668, 15 août; p. 745, 29 août.
Progrès des machines-outils. *E R N Y*, t. XLI, p. 589, 1er novembre; p. 632, 8 novembre 1902.
Expériences sur le travail des machines-outils, par Codron. *B S E*, t. CII, p. 27, janvier 1902, p. 648, mai 1902.
Scie mobile électrique pour couper les métaux à chaud. *G C*, t. XL, p. 352, 22 mars 1902.
Cisaille électro-hydraulique pour poutrelles de Breuer, Schumacher et Cie. *R I*, t. XXXIII, p. 465, 22 novembre 1902.
Fraiseuse pour cylindres à commande électrique de la Société Alsacienne de Constructions Mécaniques. *R I*, t. XXXIII, p. 413, 18 octobre 1902.
Perceuse électrique A.-L. De Leeuw. *E R N Y*, t. XLI, p. 533, 18 octobre.
Machine à fileter les tuyaux à commande électrique, par Saunders Sons. *R I*, t. XXXIII, p. 133, 5 avril 1902.
Haveuse électrique à barre construite par Mavor et Coulson. *R I*, XXXIII, p. 128, 29 mars 1902.
Compresseurs d'air actionnés électriquement. *A E*, t. XIV, p. 450, septembre 1902.

Machines à imprimer actionnées électriquement. *E R*, t. L, p. 930, 6 juin.
Essoreuse centrifuge à commande électrique. *G C*, t. XL, p. 269, 15 février 1902.
Turbines centrifuges mues électriquement. *E*, t. XXIV, p. 802, 19 décembre 1902.
Pompes de mines actionnées électriquement à l'Exposition de Düsseldorf. *E*, t. LXXIV, p. 57, 11 juillet.
Pompes centrifuges actionnées électriquement aux mines de Horcajo (Espagne). *E*, t. LXXIV, p. 72, 18 juillet.
Pompes électriques pour les eaux d'égout à Pittsfield (Massachusetts). *E W*, t. XL, p. 613, 18 octobre.
Pompes centrifuges actionnées électriquement aux égouts de La Nouvelle-Orléans. *E*, t. LXXIV, p. 103, 25 juillet.
Pompes centrifuges à haute pression avec moteurs électriques et turbines à vapeur, par A. Rateau. *G C*, t. XL, p. 260, 15 février 1902.
Installation de pompes actionnées par moteurs asynchrones monophasés à Hammersmith. *E R*, t. LI, p. 532, 26 septembre.
Gouvernail à commande électrique de Siemens frères. *El.*, t. XI, p. 303, 12 décembre.
Gouvernail électrique W. Day. *E W*, t. XL, p. 585, 11 octobre.
La commande électrique du gouvernail à bord du *Finland*. *E W*, t. XL, p. 844, 29 novembre.
Telphérage, par C.-M. Clark. *A I E E*, t. XIX, p. 391, avril 1902.
Telphérage postal électrique, système Piscicelli Taeggi, par Georges Dary. *El.*, t. XXIII, p. 263, 25 octobre 1902.
Transport des colis par l'électricité, par G.-W. Parker. *E R N Y*, t. XLI, p. 486, 11 octobre.
La poste par telphérage en Italie. *E W*, t. XL, p. 533, 4 octobre.
Annonciateur électrique pour l'appel des voitures (*E W*, t. XL, p. 429, 13 septembre).
Signal automatique Harrison pour tramway. *S R J*, t. XX, p. 437, octobre 1902.
Sonneries électriques dans la marine. *E R*, t. LI, p. 842, 14 novembre.
Signaux d'alarme du tunnel de Bergen du chemin de fer Erie. *E R, N.-Y.*, t. XLI, p. 87-89, 19 juillet 1902.
Signaux pour tunnels. *E R*, t. LI, p. 331, 29 août 1902.
Système « Crewe » pour la commande électrique des signaux de chemins de fer. *E R*, t. LI, p. 903, 28 novembre.
Signaux des chemins de fer de l'Etat français. *E*, t. LXXIII, p. 184, 7 février 1902.
Signal automatique pour Block et distance réglementaire des trains. *S R J*, t. XX, p. 60, juillet 1902.
Les blok-systems actuels, par E.-F. Bliss. *E W*, t. XL, p. 279-284, 23 août 1902. Cet article, illustré de photographies et de diagrammes, décrit les divers blok-systems en usage aux Etats-Unis.
Système Siemens et Halske de pédale à mercure pour voie de chemins de fer. *Ele*, t. XXIII, p. 389, 21 juin 1902.
Séparateur magnétique Thomson-Houston. *G C*, t. XLI, p. 27, 10 mai 1902.
Trieurs magnétiques pour le traitement des minerais. (Maschinenbau-Anstalt-Humboldt). *E*, t. LXXIV, p. 268, 29 août.
La manœuvre des moteurs électriques dans les usines, par N.-C. Woodfin. *E R*, t. LI, p. 521, 19 septembre.
Applications de la force motrice électrique dans les industries du fer et de l'acier, par D Selby-Bigge. Communication lue au « Iron and Steel Institute » à Düsseldorf. *E R*, t. LI, p. 519, 19 septembre; p. 559, 26 septembre.
Applications de l'énergie électrique dans les aciéries modernes, par J.-H. Smith. *E M*, t. XXIV, p. 402-416, décembre 1902.
Installation électrique d'une fonderie. *E W*, t. XL. p. 749, 8 novembre.

La force motrice électrique aux Forges de Buffalo. *E W*, t. XL, p. 389, 6 septembre.

Installations électriques des usines du Pied-Selle à Fumay (Ardennes), par C. Dufour. *G C*, t. XLI, p. 165, 12 juillet 1902.

Les hauts fourneaux et forges de Cette, par Ch. Dantin, *G C*, t. XLI, p. 373, 11 octobre 1902.

Hauts fourneaux d'Élisa à Pittsburg, par Aug. Dutreux. *G C*, t. XL, p. 373, 5 avril 1902.

Substitution de l'électricité à la vapeur dans les ateliers de Lister Agricultural Chemical Works, à Newark. *A E*, t. XIV, p. 415, septembre 1902.

L'électricité dans les ateliers de J. et F. Howard, de Bedford. *E R*, t. LI, p. 444, 12 septembre 1902.

L'électricité dans les ateliers de A.-E. Craig et Cie de Paisley. *E R*, t. LI, p. 441, 12 septembre 1902.

Installation mécanique de la Waterside Station Edison Co, New-York. *B S E*, t. CII, p. 276, février 1902; p. 852, juin 1902.

L'électricité dans les filatures de coton, par G. Walsh. *E R N Y*, 4 janvier 1902. — Les États du Sud de l'Union comptent actuellement 500 filatures avec 5 millions de broches, dont la plupart ont été construites dans les dix dernières années. Outre l'économie de main-d'œuvre réalisée par l'emploi de petits fermiers et d'ouvriers des champs, on a surtout poursuivi l'économie de force motrice et le rendement des machines. On a obtenu une meilleure division du travail en actionnant les machines par groupes au moyen de moteurs électriques alimentés par des dynamos-turbines; et pour les filatures situées au voisinage des chutes d'eau, on a ainsi réalisé une économie de 20 à 30 p. 100 sur la vapeur. Les usines les plus favorisées ont pu distribuer jusqu'à 30 p. 100 de dividendes, tous frais déduits, avec un capital de 400 000 fr environ pour 3 000 à 4 500 broches. Le prix de revient de la force motrice avec la vapeur est de 62,50 fr à 87,50 fr par cheval; pour les filatures actionnées directement par la force hydraulique, la dépense varie de 37,50 fr à 75 fr et quand cette énergie est préalablement transformée en énergie électrique la dépense n'est que de 20 fr à 50 fr.

Matériel électrique d'une grande manufacture de chapeaux. *A E*, t. XIV, p. 507, novembre.

Installations électriques de la fabrique de ciment de Alsen (New-York). *E W*, t. XL, p. 81-84, 19 juillet 1902.

Matériel électrique d'une fabrique de ciment. *E R N Y*, t. XLI, p. 602, 1er novembre.

L'électricité dans une grande usine de charcuterie. *E R*, t. LI, p. 443, 12 septembre 1902.

L'électricité dans les fabriques de papier. *E R*, t. LI, p. 430, 12 septembre 1902.

Installation électrique pour pompe d'irrigation dans l'Utah (États-Unis). *E W*, t. XL, p. 659, 25 octobre.

Exploitation économique des irrigations avec pompes électriques, par A.-J. Bowie. *E W*, t. XL, p. 1 039 27 décembre 1902.

Matériel électrique du chantier naval de Washington. *E R N Y*, t. LI, p. 144, 2 août.

La force motrice électrique dans les ateliers de construction d'un chemin de fer à vapeur. *E W*, t. XL, p. 405, 13 septembre.

L'énergie électrique dans les mines, par G. Dary. *Ele*, t. XXIII, p. 279, 1er novembre 1902.

Appareils mécaniques dans les mines. Abatage et sondage du charbon. Communication à l' « Institution of Mechanical Engineers. *El.*, t. XLIX, p. 757, 29 août.

Installations électriques des mines du Boléo, Santa-Rosalia (Mexique), par Eugène Hoffmann. *G C*, t. XLI, p. 341, 27 septembre 1902.

Installation minière électrique au Nevada. *E W*, t. XL, p. 421, 13 septembre.

Installation électrique pour l'épuisement des eaux dans les mines, par J.-A. Montpellier. *Ele*, t. XXIII, p. 161, 13 septembre 1902.

L'électricité dans les mines de charbon de la Bradford Colliery's Company, près de Manchester. *E R*, t. LI.

Distribution à courants triphasés de la mine de plomb de Frongoch, Cardiganshire (Angleterre). *E R*, t. LI, p. 436-438, 12 septembre 1902.

L'électricité dans les mines de houille anglaises. *E R N Y*, t. XLI, p. 375, 20 septembre.

Traction.

Généralités. — Sur la traction électrique, par Armstrong et Berg. *A I E E*, t. XIX, p. 271, mars 1902.

Les tendances présentes de la traction électrique, par Louis Bell. *E R N Y*, 11 janvier 1902. — L'auteur refait l'historique des progrès de la traction électrique, qui du service urbain tend à s'étendre de plus en plus aux services suburbains et interurbains, en même temps que les vitesses augmentent. Le cycle de cette évolution se ferme sur les tramways à troisième rail, avec leur voie propre, leurs stations et leur horaire. L'auteur se demande quelle situation va être faite, à l'avenir, à ce nouveau genre de chemin de fer par la législation; les entrepreneurs auront bientôt à choisir entre les responsabilités d'un tramway urbain et les charges d'un véritable chemin de fer, tant au point de vue de la vitesse que de l'équipement. Les méthodes employées au chemin de fer de Zossen ont trouvé peu de faveur de l'autre côté de l'Atlantique; bien que l'auteur admette que pour des trains à cette vitesse la distribution directe par courants polyphasés soit la seule admissible, il rappelle que la principale objection à ce système est la difficulté d'obtenir de fortes accélérations, ce qui est capital pour des lignes à arrêts fréquents; son utilité n'existe d'ailleurs pour de longs trajets où l'économie de temps peut devenir appréciable, et dès lors, par suite des intérêts financiers en jeu, ce n'est que par une évolution lente qu'il s'introduira dans la pratique.

La commutatrice appliquée aux réseaux de traction, par Ch.-F. Scott. *T T*, t. IV, p. 241, août.

Nouveau système Westinghouse de traction électrique pour tramways interurbains. *E R N Y*, t. XLI, p. 382, 20 septembre.

Le système Sprague à unités multiples. Son application au chemin de fer élevé de Boston, par Frank J. Sprague. *E R*, t. XLIX, p. 1067, 27 décembre 1901.

Les chemins de fer électriques, par Léon Gérard. *I C*, p. 442 et 579, mars et avril 1902.

Procédés applicables à la traction électrique des trains lourds, par Louis Bell. *S R J*, t. XX, p. 9, juillet 1902.

La traction électrique sur les chemins de fer, par W.-M. Bordey et B.-M. Jenklin. *B S E*, t. CIII, p. 697, novembre 1902.

La traction électrique sur les voies ferrées; par G. Giorgi. *L'Elettricista*, t. XI, p. 236, octobre 1902. L'auteur passe en revue les différents points intéressants de la technique relative à l'application de la traction électrique sur les voies ferrées. L'article indique les questions sur lesquelles doit s'arrêter l'attention des ingénieurs chargés de ce service.

La traction électrique dans ses rapports avec les chemins de fer existants, par J.-W. Jacomb-Hood. *El.*, t. XLIX, p. 1037, 17 octobre.

Emploi des accumulateurs pour la traction sur voies ferrées, par J. Izart. *I E*, t. XI, p. 533, 10 décembre 1902.

Tracé des courbes de vitesse, par O.-C. Mailloux. *S R J*, t. XX, p. 187-194, août; p. 255-270, septembre 1902.

Résistance des trains, par A.-H. Armstrong. *Id.* John-Balch Blood. *S R J*, t. XX, p. 21 et 23, juillet 1902.

Résistance des trains (article accompagné de l'opinion d'un grand nombre d'ingénieurs), par W.-J. Davis. *S R J*, t. XIX, p. 360-367, mai 1902; p. 460, juin 1902.

Considérations sur l'inertie des parties mobiles d'un train, par N.-W. Storer. *A I E E*, t. XIX, p. 157, février 1902.

Causes et remèdes des vibrations, par A. Mallock. *S R J*, t. XIX, p. 496, juin 1902.

par M. Eisig. *E T Z*, t. XXIII, p, 588, 3 juillet 1902. — L'auteur expose dans un très long article, fort documenté, et se référant souvent aux installations américaines, les conditions de fonctionnement des stations centrales de traction électectrique : il y étudie successivement les chaudières, machines à vapeur, moteurs à gaz, turbines, accumulateurs, sous-stations et disjoncteurs autsmatiques.

Machines motrices anglaises et américaines pour les tramways de Glasgow. *E R*, t. LI, p. 491, 19 septembre.

Machinerie et appareillage pour la traction électrique (*suite*). *E R*, t. LI, p. 52, 11 juillet.

Construction des voies de tramways électriques suburbains et interurbains, par S.-S. Hoff. *E R N Y*, t. XLI, p. 404, 27 septembre.

Moyen d'enlever le verglas du 3e rail, par G.-T. Hanchett. *S R J*, t. XX, p. 477, novembre 1902.

Répartition du courant dans les réseaux de chemins de chemins de fer, par Pforr. *E T Z*, t. XXIII, p. 650, 24 juillet 1902. — L'auteur étudie par un procédé emprunté à la statique graphique, la répartition du courant dans un réseau de chemins de fer alimenté par différentes usines, dans les trois cas successifs d'une ligne continue sans embranchements, d'une ligne avec embranchement, et d'un circuit fermé.

Nouvelle combinaison de moteurs polyphasés pour traction, par F. Danielson. *A I E E*, t. XIX, p. 439, avril 1902.

Consommation d'énergie et puissance des moteurs pour la traction électrique des trains, par C.-T. Hutchinson. *A I E E*, t. XIX, p. 117, février 1902.

Dispositif pour le retour du courant par les rails de tramways électriques. *G. C.* t. XLI, p. 367, 4 octobre 1902.

Perturbations causées aux lignes télégraphiques par un chemin de fer triphasé. *E. W.* t. XL, p. 635, 25 octobre.

L'électrolyse des conduites de gaz, par James Swinburne. *El.* t. XLIX, p. 642, 8 août 1902.

L'électrolyse des conduites du gaz, par James Swinburne. Communication lue à l' « Incorporated gas Institute ». *El.*, p. 681, 15 août; *E R N Y*, t. XLI, p. 263, 30 août et p. 293, 6 septembre.

Décision du tribunal dans l'affaire intentée par la ville de Dayton à la City Railroad Company à propos de la destruction de ses canalisations. *S R J*, t. XIX, p. 397, mai 1902.

Traînage électrique dans les mines de charbon. *E W*, t. XXXIX, p. 541, 29 mars.

Exploitation des tramways électriques. Discussion à la réunion d'ingénieurs de tramways électriques à Detroit (Etats-Unis). *E R N Y*, t. XLI, p. 562, 25 octobre.

Quelques problèmes d'exploitation des tramways, par C.-R. Bellamy. *S R J*, t. XX, p. 132, août 1902.

Conduite des voitures de tramways, par H.-B. Phillimore. *E R*, t. LI, p. 608, 10 octobre.

Méthode graphique pour représenter la statistique des tramways, par W.-C. Gothshall. *S R J*, t. XX, p. 473, novembre 1902.

Le service des marchandises et des dépêches sur les railways électriques interurbains, par A.-E. Lang. *S R J*, t. XX, p. 340, octobre 1902.

Le bureau des comptes dans les railways électriques interurbains, par W.-C. Brockway. *S R J*, t. XX, p. 348, octobre 1902.

La répartition des comptes, par H.-D. Emerson. *S R J*, t. XX, p. 221, septembre 1902.

De l'utilité des fonds de réserve, par A.-O. Kittredge. *S R J*, t. XX, p. 116, août 1902.

La discipline des employés de tramways, par W.-E, Harrington. *S R J*, t. XX, p. 239, septembre 1902.

La pratique des tramways en Angleterre. Rapport présenté à la Société des ingénieurs civils, le 11 novembre 1902, par C. et B. Hopkinson et E. Talbot. *S R J*, t. XX, p. 633, décembre 1902.

Notes sur la pratique européenne en traction avec courants triphasés, par C.-L. de Muralt. *A I E E*, t. XIX, p. 411, avril 1902.

Le développement de la traction interurbaine aux Etats-Unis. *E*, t. LXXII, p. 306, 7 mars 1902.

Notes relatives aux tramways en Amérique, par J.-B. Hamilton.

La possession municipale en Angleterre, par Robert-P. Porter. *S R J*, t. XX, p. 109 et 216, août et septembre 1902.

Les projets de traction et d'éclairage électriques soumis au Parlement. *E*, t. LXXIV, p. 738, 5 décembre.

Nouvelle réglementation proposée par le Board of Trade sur les fils protecteurs des trôlets. *El.*, t. XLVIII, p. 501, 17 janvier.

L'Exposition de tramways et de chemins de fer à voie étroite. *E*, t. LXXIV, p. 51, 11 juillet; *E R*, t. LI, p. 47, 11 juillet, p. 91, 18 juillet, p. 161, 25 juillet; *El.*, p. 485, 11 juillet, p. 507, 18 juillet, p. 547, 25 juillet, p. 664, 15 août.

Equipement et appareillage. — Usine génératrice du Elevated Railway de Boston. *E W*, t. XL, p. 467, 20 septembre 1902.

Salle des chaudières de la Metropolitan Company de New-York. *S R J*, t. XIX, p. 375, mai 1902.

Nouveautés dans l'appareillage des tramways de Grand Rapides. *S R J*, t. XX, p. 492, novembre 1902.

Nouveau type de voie employé à Hartford. *S R J*, t. XX, p. 642, décembre 1902.

Joints pour rails de tramways électriques. *G C*, t. XLI, p. 29, 10 mai 1902.

Le Rail-Bond Thomas. *S R J*, t. XX, p. 428, octobre 1902.

Le Monorail Behr. *El. W. and. Eng.*, 1er février 1902. M. Behr, critique, dans une communication à l'Association des Ingénieurs allemands, l'utilisation pratique des chemins de fer à grande vitesse du type Berlin-Zossen. L'auteur fait une comparaison entre ce chemin de fer et le monorail qu'il a été autorisé à établir entre Manchester et Liverpool. Pour le premier, les voitures



3000 chevaux au démarrage et 1000 chevaux en cours de route. Pour le monorail de Liverpool, les voitures seront de 39 tonnes pour 38 voyageurs et prennent 515 chevaux. La hauteur des voitures dans ce système sera de 3,30 m seulement au lieu de 4,20 m, et le poids sur les traverses des rails est de 17 tonnes à Zossen, au lieu de 9,5 à Liverpool.

Notes sur les canalisations aériennes pour tramways. *E R*, t. LI, p. 894, 28 novembre.

Aiguillage électrique. *E R N Y*, 4 janvier 1902. Il a pour objet d'éviter la présence d'un aiguilleur ou les déplacements des conducteurs dans les carrefours très fréquentés. A l'approche d'un aiguilleur le trôlet est disposé pour envoyer son courant dans un solénoïde placé sous la voie et dont l'armature entraîne l'aiguille pour le passage en ligne droite ; le wattman coupe le courant sur le coupleur. Pour le passage en courbe, le wattman laisse le courant sur le coupleur.

Aiguillages électriques pour tramways. *E.*, t. XLVIII, p. 804, 14 mars 1902.

Prise de courant pour traction électrique au-dessus de 200 ampères, par G.-T. Hanchett. *S R J*, t. XX, p. 13, juillet 1902.

Système T.-E. Murray et J. Van Vleck pour traction électrique. *E W*, t. XL, p. 461, 20 septembre.

Dispositif de prise de courant pour trôlet. *G C*, t. XLI, p. 289, 30 août 1902.

Nouveau système de caniveau appliqué aux tramways de Bruxelles. *S R J*, t. XX, p. 234, septembre 1902.

Prise de courant du chemin de fer de Manhattan. *E W*, t. XL, p. 902, 20 décembre 1902.

Examen critique des systèmes magnétiques de prise de courant à conducteurs sectionnés, par G. Paul. *I E*, t. XI, p. 373, 25 août 1902.

Systèmes de prise de courant par contact superficiel, par G. Paul. *E*, t. LXXIV, p. 671, 21 novembre.

Traction électrique par contact superficiel à deux conducteurs isolés, système B. Cruvellier. *G C*, t. XLI. p. 57, 24 mai 1902.

Prise de courant au niveau du sol pour tramways, système Cruvellier. *E W*, t. XL, p. 16, 5 juillet.

Le système Cruvellier pour prise de courant par contact superficiel. *E*, t. LXXIV, p. 211, 15 août.

La traction électrique par contacts superficiels du système Diatto, par Julius. *A I M*, 3e série, t. II, p. 63-127, janvier 1902.

Système Dolter de prise de courant par contact superficiel. *E R*, t. LI, p. 487, 19 septembre.

Système Dolter de prise de courant par contact superficiel. *E.*, t. L, p. 192, 21 novembre.

Tramways à contacts superficiels, système Dolter, par G. Paul. *I E*, t. XI, p. 507, 25 novembre 1902.

Le contact superficiel, système Kingsland. *S R J*, t. XX, p. 241, septembre 1902.

Le contact superficiel système Lorain pour prise de courant au niveau du sol pour tramways. *R C T*, t. XXV, p. 163, août 1902.

Plot Mascham pour tramways. *G C*, t. XL, p. 237, 2 février 1902.

Sur la chape basculante pour faciliter l'accrochage des poulies sur le fil de trôlet, par Martial Jacob. *B S E*, t. CII, p. 592, mai 1902.

Perche de trôlet C.-D. Jenney. *E R N Y*, t. XLI, p. 493, 11 octobre.

Nouveau type de roue et fourche pour trôlet. *S R J*, t. XX, p. 622, décembre 1902.

Locomotives à accumulateurs. *E W*, t. XL, p. 674, 25 octobre.

Locomotive électrique à grande vitesse. *E R N Y*, t. XLI, p. 634, 8 novembre.

Locomotive électrique Ellwood C. Lindsay. *E R N Y*, t. XLI, p. 746, 29 novembre.

Locomotive à grande vitesse équipée de moteurs construits pour une tension de 10000 volts, par Walter Reichel. *A I M*, 3e série, t. II, p. 184-212, février 1902.

Voitures électriques à grande vitesse. *E R N Y*, t. XLI, p. 383, 20 septembre.

Voitures électriques destinées à rouler sur les voies à vapeur, par E.-A. Evans. *S R J*, t. XX, p. 83, juillet 1902.

Voitures pour service interurbain à grande vitesse. *S R J*, t. XX, p. 378, octobre 1902.

Voitures électriques du réseau souterrain de New-York. *E W*, t. XL, p. 520, 4 octobre.

Voitures à grande vitesse pour le chemin de fer électrique à troisième rail de Wilkesbarre et Hazelton. *S R J*, t. XX, p. 620, décembre 1902.

Voitures pour les tramways de Londres. *El.*, t. XLIX, p. 8, 25 avril 1902.

Matériel roulant incombustible pour le Central London Unterground Railway. *S R J*, t. XX, p. 438, octobre 1902.

Exposition de voitures motrices à Islington. *El.*, t. XLIX, p. 9, 25 avril 1902.

Essais de voitures électriques interurbaines de la Union Traction Company de Indiana, par C. Renshaw. *S R J*, t. XX, p. 362, octobre 1902.

Epreuves de consommation pour voitures automobiles. *G C*, t. XL, p. 349, 21 mars 1902.

Trucks pour le service interurbain, par C.-F. Uebelacker. *S R J*, t. XX, p. 357, octobre 1902.

AVIS.

Maison d'Appareillage Electrique en gros, de Londres, désire la représentation de fabriques de câbles et fils, lampes à arcs, charbons, ventilateurs et spécialités. Les articles devront être de toute première qualité et vendus à des prix défiant toute concurrence. Ecrire : « A. Box, 618, » Smiths Advertising Agency, 100 Fleet Street, Londres, Angleterre.

